



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PENINGKATAN ISOLASI ANTAR ELEMEN PADA
ANTENA MIKROSTRIP ARRAY DENGAN
MENGUNAKAN *METAMATERIAL ABSORBER***

Raden Mirzha Chainurfaza Sukmaputra
NRP 2212100058

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**INCREASED ISOLATION BETWEEN ELEMENTS OF
THE MICROSTRIP ARRAY ANTENNA USING
METAMATERIAL ABSORBER**

Raden Mirzha Chainurfaza Sukmaputra
NRP 2212100058

Supervisors
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Peningkatan Isolasi Antar Elemen pada Antena Mikrostrip Array dengan Menggunakan Metamaterial Absorber”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2016

Raden Mirzha Chainurfaza Sukmaputra
NRP. 2212100058

**PENINGKATAN ISOLASI ANTAR ELEMEN PADA
ANTENA MIKROSTRIP ARRAY DENGAN
MENGGUNAKAN *METAMATERIAL ABSORBER***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,



Eko Setijadi, ST., MT., Ph. D.
NIP. 1972 10 01 2003 12 1002

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 1966 05 10 1992 03 2002



PENINGKATAN ISOLASI ANTAR ELEMEN PADA ANTENA MIKROSTRIP *ARRAY* DENGAN MENGGUNAKAN *METAMATERIAL ABSORBER*

Raden Mirzha Chainurfaza Sukmaputra
2212100058

Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRAK

Seiring berkembangnya teknologi, setiap perangkat telekomunikasi diharapkan mampu beroperasi pada kinerja yang sama tetapi dengan bentuk yang sekecil mungkin. Salah satu contohnya adalah antena *array*. Jika jarak antar elemen pada antena *array* diperkecil, maka akan memperbesar *mutual coupling* yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan mengubah pola radiasi antena. Untuk mengatasi *mutual coupling* tersebut, maka isolasi antar elemen dari antena tersebut harus ditingkatkan. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan *Metamaterial Absorber*. Pada Tugas Akhir ini dirancang tiga buah antena, yaitu: antena mikrostrip *patch*, antena mikrostrip *array*, dan antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*. Ketiga antena tersebut secara berurutan dapat bekerja pada frekuensi 2.5 GHz, 2.476 GHz dan 2.468 GHz. Kemudian dilakukan perbandingan antara antena mikrostrip *array* dengan dan tanpa menggunakan *metamaterial absorber*. Hasil pengukuran didapatkan bahwa terjadi penurunan *mutual coupling* sebesar 4.25 dB yang membuktikan bahwa isolasi antar elemen dari antena dapat ditingkatkan dengan *metamaterial absorber*.

Kata Kunci : *Mutual Coupling, Metamaterial Absorber, Antena Mikrostrip, Antena Array*

INCREASED ISOLATION BETWEEN ELEMENTS OF THE MICROSTRIP ARRAY ANTENNA USING METAMATERIAL ABSORBER

Raden Mirzha Chainurfaza Sukmaputra
2212100058

Supervisor I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Supervisor II : Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRACT

As the development of technology, every telecommunications equipment is expected to operate at the same performance but with the smallest possible form. One of which is the antenna array. If the distance between the elements of antenna array is reduced, it will increase the mutual coupling which causes a decrease in efficiency and can change the antenna's radiation pattern. To overcome the mutual coupling, the isolation between elements of the antenna should be increased. One in many ways is to use Metamaterial Absorber. In this final project will be designed three antennas, which are: microstrip patch antenna, microstrip antenna array, and microstrip antenna array with metamaterial absorbers. All of these antennas are able to work at 2.5 GHz, 2.467 GHz, and 2.468 GHz respectively. Then compare the performance of the microstrip array antenna with and without using metamaterial absorber. The measurement results showed that the decrease in mutual coupling is 4.25 dB which proves that the isolation between elements of the antenna can be improved by using metamaterial absorber.

Keywords : Mutual Coupling, Metamaterial Absorber, Microstrip Antenna, Array Antenna

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala serta tak lupa shalawat dan salam diucapkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi Wasallam, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman. Karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul :

“PENINGKATAN ISOLASI ANTAR ELEMEN PADA ANTENA MIKROSTRIP *ARRAY* DENGAN MENGGUNAKAN *METAMATERIAL ABSORBER* ”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak, segala kendala dapat teratasi. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Raden Andry Indriyasworo Sukmoputro dan Ibunda Nurul, kedua adik, Adinda Firzha dan Aiko yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D. dan Ibu Dr. Ir. Puji Handayani, MT. selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Endroyono, DEA selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Teknik Elektro ITS.
6. Teman-Teman Cumi Cumi Kingdom: Rama, Jati, Yarpa, Fajrin, Kris, Aip, Irlan, Dito, Gumi, Dimas, Mamen, dan Fathi yang selalu ada untuk bermain bersama selama lebih dari satu dekade.
7. Teman-teman TMM: Roni, Bima, Nendi, Rendi, Eko, Rizky, Aris, Kafabi, Hilman, Azmi, Adit, Mas Hasrul, Mas Radit, Tiffany, Ulfi, Ajeng, Aul, Fauziah, Putrissa, Fahimah, Rangga, Gomes, Pres, dan Darien yang saling menginspirasi dan menyemangati di Laboratorium B306.

8. Alwi, Jalal, Halum dan Fauzan yang selalu ada untuk bersenda gurau ketika gundah gulana menghampiri.
9. Rekan-rekan e51, e52, e53, S2, S3 dan LJ atas segala informasi yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan buku ini.

Buku hasil penelitian ini belum tentu sepenuhnya sempurna, namun setidaknya penulis berhadap bahwa buku ini dapat bermanfaat bagi pembacanya dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB II TEORI DASAR	 5
2.1 Antena	5
2.2 Antena Mikrostrip [7]	5
2.2.1 <i>Rectangular Patch Antenna</i> [7]	6
2.2.2 <i>Feeding</i> pada Antena Mikrostrip [8]	6
2.3 Dimensi Antena Mikrostrip	8
2.3.1 Substrat	8
2.3.2 Lebar (W) dan Panjang (L)	8
2.4 Parameter Dasar Antena	10
2.4.1 <i>Bandwidth</i> [7]	10
2.4.2 Pola Radiasi	11
2.4.3 Direktivitas [7]	14
2.4.4 <i>Gain</i> [6]	14
2.4.5 VSWR dan <i>Return Loss</i> [10]	15
2.4.6 <i>Scattering Parameter</i> (S-Parameter)	16
2.5 Polarisasi [7]	17
2.5.1 Polarisasi Linier	18

2.5.2 Polarisasi Melingkar.....	18
2.5.3 Polarisasi Elips	18
2.6 Saluran Mikrostrip [10].....	19
2.7 <i>Fresnel Zone</i> [11].....	20
2.8 <i>Metamaterial Absorber</i>	21
2.9 <i>Mutual Coupling</i> [13]	23
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI	25
3.1 Diagram Alir Perancangan.....	25
3.2 Penentuan Kriteria dan Spesifikasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	27
3.3 Simulasi Antena	27
3.3.1 <i>Impedance Calculation</i>	27
3.3.2 <i>Boundary Conditions</i>	28
3.3.3 <i>Field Monitors</i>	29
3.3.4 <i>Symmetry Planes</i>	30
3.3.5 <i>Frequency Range Settings</i>	30
3.3.6 <i>Waveguide Port</i>	31
3.4 Optimasi dan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	32
3.4.1 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	34
3.4.2 Hasil VSWR Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	35
3.4.3 Hasil Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	35
3.4.4 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i> pada 2.4 GHz.....	36
3.4.5 Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip <i>Patch</i> pada 2.4 GHz	37
3.5 Perancangan dan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip <i>Array</i>	37
3.5.1 Dimensi Antena Mikrostrip <i>Array</i>	37
3.5.2 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i>	39
3.5.3 Hasil VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i>	40
3.5.4 Hasil Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i>	40
3.5.5 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i>	41
3.5.6 Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i>	43
3.6 Perancangan dan Hasil Simulasi <i>Metamaterial Absorber</i> pada Antena Mikrostrip <i>Array</i>	44
3.6.1 Analisis <i>Parameter Sweep</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	44
3.6.2 Dimensi <i>Metamaterial Absorber</i>	50
3.6.3 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	52

3.6.4 Hasil VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	53
3.6.5 Hasil Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	53
3.6.6 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	54
3.6.7 Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	56
3.7 Prosedur Pengukuran <i>Return Loss</i> , VSWR, <i>Bandwidth</i> , dan Impedansi	56
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Analisis Perbandingan Simulasi	59
4.1.1 Perbandingan S-Parameter	59
4.1.2 Perbandingan VSWR	60
4.1.3 Perbandingan Impedansi <i>Input</i>	61
4.1.4 Perbandingan Pola Radiasi	62
4.1.5 Perbandingan <i>Surface Current</i>	62
4.1.6 Perbandingan Parameter Masing-Masing Antena dari Simulasi	63
4.2 Hasil Fabrikasi Antena	64
4.3 Analisis Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	65
4.3.1 Analisis S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	65
4.3.2 Analisis VSWR Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	66
4.3.3 Analisis Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	67
4.4 Analisis Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip <i>Array</i>	68
4.4.1 Analisis S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i>	68
4.4.2 Analisis VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i>	69
4.4.3 Analisis Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i>	70
4.5 Analisis Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	71
4.5.1 Analisis S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	71
4.5.2 Analisis VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	72
4.5.3 Analisis Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	72
4.6 Perbandingan Pengukuran	74
4.7 Sintesis	76

BAB V PENUTUP 79
5.1 Kesimpulan 79
5.2 Saran 79

DAFTAR PUSTAKA..... 81
LAMPIRAN 83
RIWAYAT PENULIS 87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) <i>Aperture Coupled Feed</i> dan (b) <i>Proximity Coupled Feed</i> [9]	7
Gambar 2.2	<i>Coaxial Feed</i> Antena Mikrostrip	7
Gambar 2.3	<i>Microstrip Line Feed</i> (a) <i>Inset Fed</i> (b) <i>Edge Fed</i> [8]	8
Gambar 2.4	(a) <i>Microstrip Line</i> (b) <i>Electric Field Lines</i> dan (c) Konstanta Dielektrik Efektif.....	9
Gambar 2.5	Dimensi Mikrostrip (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Samping.....	10
Gambar 2.6	Rentang Frekuensi dari <i>Bandwidth</i> Antena	11
Gambar 2.7	Plot Polar Pola Radiasi pada Antena Dipole Ideal (a) Bidang-E (b) Bidang-H (c) Skema Pengukuran Pola Radiasi (d) Pola Radiasi Tiga Dimensi [6]	12
Gambar 2.8	Pola Radiasi Antena [6]	13
Gambar 2.9	(a) Pengukuran Daya Terima Antena Referensi (<i>PS</i>) dan (b) Pengukuran Daya Terima Antena Uji (<i>PT</i>).....	15
Gambar 2.10	Konsep S-Parameter dengan Dua Terminal [10].....	17
Gambar 2.11	Polarisasi Gelombang	18
Gambar 2.12	Beberapa Contoh Disrupsi yang Dapat Terjadi pada Zona Fresnel	21
Gambar 2.13	Diagram Permittivitas dan Permeabilitas.....	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Perancangan Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	25
Gambar 3.2	Tampilan <i>Impedance Calculation</i> pada CST Microwave Studio 2012.....	28
Gambar 3.3	Tampilan <i>Boundary Conditions</i> pada CST Microwave Studio 2012.....	29
Gambar 3.4	Tampilan <i>Field Monitors</i> pada CST Microwave Studio 2012	29
Gambar 3.5	Tampilan <i>Symmetry Planes</i> pada CST Microwave Studio 2012.....	30
Gambar 3.6	Tampilan <i>Frequency Range Settings</i> pada CST Microwave Studio 2012.....	31
Gambar 3.7	Tampilan <i>Waveguide Port</i> pada CST Microwave Studio 2012	31
Gambar 3.8	Dimensi Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	33
Gambar 3.9	Tampilan Antena Mikrostrip <i>Patch</i> yang Dioptimasi secara Perspektif	33

Gambar 3.10	Simulasi <i>Inset Length</i> dengan <i>Parameter Sweep</i>	34
Gambar 3.11	Hasil S-Parameter dari Simulasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	34
Gambar 3.12	Hasil VSWR dari Simulasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i> ..	35
Gambar 3.13	Hasil Impedansi <i>Input</i> dari Simulasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	35
Gambar 3.14	Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i> pada 2.4 GHz.....	36
Gambar 3.15	Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Patch</i> pada 2.4 GHz.....	36
Gambar 3.16	Hasil <i>Surface Current</i> dari Antena Mikrostrip <i>Patch</i> pada 2.4 GHz.....	37
Gambar 3.17	Dimensi Antena Mikrostrip <i>Array</i> yang Disimulasikan.....	38
Gambar 3.18	Tampilan Antena Mikrostrip <i>Array</i> secara Perspektif..	39
Gambar 3.19	Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i>	39
Gambar 3.20	Hasil VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i>	40
Gambar 3.21	Hasil Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i>	41
Gambar 3.22	Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	41
Gambar 3.23	Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	42
Gambar 3.24	Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua <i>Port</i>	42
Gambar 3.25	Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua <i>Port</i>	43
Gambar 3.26	Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	43
Gambar 3.27	<i>Parameter Sweep</i> lsr Saat $\text{lur} = \text{lsr}$	44
Gambar 3.28	Dimensi Awal <i>Metamaterial Absorber</i>	45
Gambar 3.29	<i>Parameter Sweep</i> lur saat $\text{lsr} = 7$	46
Gambar 3.30	<i>Parameter Sweep</i> lur saat $\text{lsr} = 7.1$	46
Gambar 3.31	<i>Parameter Sweep</i> lur saat $\text{lsr} = 7.2$	47
Gambar 3.32	<i>Parameter Sweep</i> lur saat $\text{lsr} = 7.3$	47
Gambar 3.33	<i>Parameter Sweep</i> lur saat $\text{lsr} = 7.4$	48
Gambar 3.34	<i>Parameter Sweep</i> lur saat $\text{lsr} = 7.5$	49
Gambar 3.35	Perbandingan <i>Mutual Coupling</i> dari <i>Parameter Sweep</i> Dimensi <i>Metamaterial Absorber</i>	49

Gambar 3.36	Perbandingan <i>Return Loss</i> dari <i>Parameter Sweep</i> Dimensi <i>Metamaterial Absorber</i>	50
Gambar 3.37	Dimensi <i>Metamaterial Absorber</i> yang Disimulasikan dengan Antena Mikrostrip <i>Array</i>	50
Gambar 3.38	Dimensi Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i> yang Disimulasikan	51
Gambar 3.39	Tampilan Antena Mikrostrip <i>Array</i> secara Perspektif.	51
Gambar 3.40	Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	52
Gambar 3.41	Hasil VSWR Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	53
Gambar 3.42	Hasil Impedansi <i>Input</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	53
Gambar 3.43	Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	54
Gambar 3.44	Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	54
Gambar 3.45	Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua <i>Port</i>	55
Gambar 3.46	Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i> pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua <i>Port</i>	55
Gambar 3.47	Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i> yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	56
Gambar 4.1	Perbandingan Nilai S11-Parameter Masing-Masing Antena	59
Gambar 4.2	Perbandingan Nilai S21-Parameter Antena <i>Array</i> dengan dan Tanpa <i>Metamaterial Absorber</i>	60
Gambar 4.3	Perbandingan Nilai VSWR Masing-Masing Antena ...	61
Gambar 4.4	Perbandingan Nilai Impedansi <i>Input</i> Masing-Masing Antena	61
Gambar 4.5	Perbandingan Plot Polar Pola Radiasi Masing-Masing Antena	62
Gambar 4.6	Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip <i>Array</i> yang Dicatu pada <i>Port 1</i>	62

Gambar 4.7	Hasil <i>Surface Current</i> Antena Mikrostrip Array dengan <i>Metamaterial Absorber</i> yang Dicatu pada Port 1.....	63
Gambar 4.8	Hasil Fabrikasi Antena	64
Gambar 4.9	Hasil Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Patch	65
Gambar 4.10	Perbandingan Simulasi dan Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Patch	66
Gambar 4.11	Hasil Pengukuran VSWR untuk Antena Mikrostrip Patch	66
Gambar 4.12	Hasil Pengukuran Impedansi <i>Input</i> untuk Antena Mikrostrip Patch	67
Gambar 4.13	Hasil Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Array	68
Gambar 4.14	Perbandingan Simulasi dan Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Array	69
Gambar 4.15	Hasil Pengukuran VSWR untuk Antena Mikrostrip Array	69
Gambar 4.16	Hasil Pengukuran Impedansi <i>Input</i> untuk Antena Mikrostrip Array	70
Gambar 4.17	Hasil Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Array dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	71
Gambar 4.18	Perbandingan Simulasi dan Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Array dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	72
Gambar 4.19	Hasil Pengukuran VSWR untuk Antena Mikrostrip Array dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	73
Gambar 4.20	Hasil Pengukuran Impedansi <i>Input</i> untuk Antena Mikrostrip Array dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	73
Gambar 4.21	Perbandingan Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Array dengan dan Tanpa <i>Metamaterial Absorber</i>	74
Gambar 4.22	Perbandingan Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena yang Ternormalisasi	75

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter Antena Mikrostrip <i>Patch</i> yang Diinginkan	27
Tabel 3.2	Spesifikasi Substrat dan <i>Patch</i> Antena	27
Tabel 3.3	Dimensi Antena Mikrostrip <i>Patch</i> Setelah Dioptimasi	32
Tabel 3.4	Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i>	37
Tabel 3.5	Dimensi Antena Mikrostrip <i>Array</i> yang Disimulasikan	38
Tabel 3.6	Parameter Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	44
Tabel 3.7	Dimensi Awal <i>Metamaterial Absorber</i>	45
Tabel 3.8	Dimensi <i>Metamaterial Absorber</i>	51
Tabel 4.1	Perbandingan Parameter Masing-Masing Antena dari Simulasi	63
Tabel 4.2	Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	67
Tabel 4.3	Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip <i>Array</i>	70
Tabel 4.4	Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip <i>Array</i> dengan <i>Metamaterial Absorber</i>	74
Tabel 4.5	Perbandingan Parameter Hasil Pengukuran Antena	75

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada komunikasi gelombang radio, diperlukan antenna yang memiliki kinerja *bandwidth*, frekuensi kerja, VSWR, dan *gain* yang baik. Antena mikrostrip merupakan antena yang banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi [1] karena antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk perangkat telekomunikasi yang sekarang ini sangat memperhatikan bentuk dan ukuran. Antena mikrostrip juga memiliki fitur yang menarik seperti, profil rendah, fleksibel, ringan, ukurannya kecil, dapat dibuat untuk bekerja di banyak frekuensi, tidak memerlukan catuan tambahan, polaritas linear dan sirkular dan biaya produksi yang rendah [2]. Namun, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, yaitu efisiensi yang rendah, penguatan yang rendah, radiasi daya yang rendah dan faktor kualitas (Q) yang tinggi. Juga termasuk polarisasi yang buruk, kinerja pemindaian yang rendah dan *bandwidth* yang sempit. *Bandwidth* dari antena mikrostrip dapat ditingkatkan dengan menggunakan substrat yang tebal atau dengan memilih permitivitas dielektrik substrat yang rendah.

Ada banyak cara untuk menanggulangi kekurangan dari antena mikrostrip ini, salah satunya menambahkan *patch* pada substratnya sehingga menjadi antena mikrostrip *array* [3]. Beberapa kelebihan antena mikrostrip *array* dibandingkan antena mikrostrip biasa yaitu memiliki *beamwidth* yang lebih sempit, dan *bandwidth* dan *gain* yang lebih besar. Namun antena mikrostrip *array* juga memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah munculnya *mutual coupling*.

Mutual coupling dapat dikaitkan dengan dua alasan, yaitu interaksi elektromagnetik dan arus permukaan antar elemen. Efek *mutual coupling* dapat menyebabkan perubahan pada parameter antena, seperti *gain*, *return loss*, pola radiasi, efisiensi, kapasitas saluran, *impedance matching* dan daya yang dipancarkan [4]. Salah satu cara mengurangi *mutual coupling* adalah dengan *metamaterial absorber*.

Metamaterial adalah material yang direkayasa 2D atau 3D, yang tidak seperti material alami biasa. Metamaterial memiliki beberapa sifat unik yang tidak ada di material alami. Metamaterial memiliki sifat permitivitas elektrik yang negatif dan permeabilitas elektrik yang negatif [5]. Pengembangan *metamaterial absorber* menjadi topik yang hangat dalam dekade terakhir ini dan menjadi isu yang sangat penting

bagi dunia komersil maupun militer karena dapat menjadi perlindungan bahan dari gangguan gelombang elektromagnetik atau yang biasa disebut dengan *electromagnetic interference* (EMI) seperti *mutual coupling*.

Pada tugas akhir ini akan dirancang antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* sebagai cara untuk mengatasi *mutual coupling*. Antena mikrostrip *array* akan dirancang untuk bekerja pada frekuensi 2.4 GHz dengan berjarak seperdelapan panjang gelombang sehingga memperkecil ukuran, namun meningkatkan *mutual coupling*. Lalu peningkatan *mutual coupling* tersebut akan diatasi dengan *metamaterial absorber*.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang antenna mikrostrip pada frekuensi 2.4 GHz?
2. Bagaimana merancang antenna mikrostrip *array* pada frekuensi 2.4 GHz dengan jarak spasi seperdelapan panjang gelombang?
3. Bagaimana merancang *metamaterial absorber* yang dapat bekerja pada antenna mikrostrip *array* 2.4 GHz dengan jarak spasi seperdelapan panjang gelombang?
4. Bagaimana hasil perbandingan antara simulasi dengan pengukuran?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam memahami tugas akhir ini, penulis membatasinya pada ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. *Software* simulasi antenna yang digunakan adalah *CST Microwave Studio 2012*.
2. Studi kasus dilakukan pada laboratorium-laboratorium bidang studi Telekomunikasi Multimedia Teknik Elektro ITS.
3. Pengukuran parameter antenna S-parameter, *Bandwidth*, VSWR, dan Impedansi *Input*.
4. *Metamaterial Absorber* berbentuk *single rectangular ring*.

1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini diharapkan dapat menghasilkan suatu prototipe antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* (MMA) yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz pada jarak spasi seperdelapan panjang gelombang untuk meningkatkan isolasi atau mengurangi *mutual coupling*.

1.5 Metodologi

Metodologi yang akan diterapkan dalam tugas akhir ini terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Pada tahap ini akan mempelajari beberapa referensi dan buku yang berisi teori maupun aplikasi mengenai antena mikrostrip *array* dan *metamaterial absorber* serta *mutual coupling*.
2. Penentuan perangkat
Pada tahap ini akan dipilih jenis substrat, jenis lapisan peradiasi, dan dimensi antena mikrostrip *array* yang akan digunakan pada frekuensi 2.4 GHz.
3. Simulasi dengan *metamaterial absorber*
Tahap ini akan ditentukan bentuk *metamaterial absorber* yang digunakan untuk dapat mengurangi *mutual coupling* pada antena mikrostrip *array*.
4. Fabrikasi
Antena mikrostrip *patch*, antena mikrostrip *array*, dan Antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* yang telah disimulasikan dan dirancang akan difabrikasi.
5. Pengukuran dan pengujian alat
Pada tahap ini dilakukan pengukuran Antena mikrostrip *patch*, antena mikrostrip *array*, dan Antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* pada frekuensi 2.4 GHz dan kemudian diukur kinerja antena tersebut.
6. Analisis Data
Menganalisis hasil dari pengukuran yang telah dilakukan.
7. Kesimpulan
Mengambil kesimpulan dari hasil analisis data.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan Tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

Bab II Teori Dasar

Pada bab ini akan dibahas parameter antena, mikrostrip, serta dasar teori tentang *metamaterial absorber* yang digunakan untuk mengurangi *mutual coupling* antar elemen antena.

Bab III Perancangan dan Implementasi

Bab ini menjelaskan tentang metode perancangan antena mikrostrip *array* yang berjarak seperdelapan panjang gelombang dan memiliki *mutual coupling* yang cukup tinggi. Kemudian dengan tambahan *metamaterial absorber*, akan terjadi penurunan tingkat *mutual coupling* antena tersebut.

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil pengukuran parameter antena dibandingkan dengan hasil simulasi, serta pengukuran *mutual coupling* antar antena untuk dianalisa apakah terdapat penyerapan atau tidak.

Bab V Penutup

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan analisis data dan pembahasan.

1.7 Relevansi

Dengan selesainya tugas akhir, diharapkan akan berguna dalam perkembangan di dunia telekomunikasi khususnya di bidang Antena dan Propagasi. Karya ini dapat bermanfaat dalam sintesis antena *array*, karena dengan adanya *metamaterial absorber*, dapat menurunkan *mutual coupling* antena tersebut. Selain itu juga dapat dimanfaatkan untuk pustaka bagi penelitian yang akan datang dengan topik yang serupa.

BAB II

TEORI DASAR

Pemahaman teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian diperlukan sebelum melakukan perancangan. Pada subbab berikut akan diuraikan beberapa teori yang mendasari perancangan antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*.

2.1 Antena

Antena adalah perangkat yang meradiasikan atau menerima sinyal elektromagnetik dari atau ke ruang bebas [6]. Pada sistem komunikasi, suatu sinyal ditransmisikan dari satu titik ke titik lainnya. Transmisi sinyal dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah transmisi sinyal elektromagnetik melalui ruang bebas, dengan antenna sinyal yang datang dari saluran transmisi kemudian dipancarkan ke ruang bebas.

Saluran transmisi adalah media yang berfungsi menghantarkan sinyal, jika sinyal melalui saluran transmisi yang tak berhingga panjangnya maka akan timbul gelombang yang merambat secara *uniform* pada saluran transmisi. Apabila saluran transmisi tersebut dihubungkan singkat maka akan timbul gelombang berdiri yang disebabkan oleh gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan.

2.2 Antena Mikrostrip [7]

Mikrostrip terdiri dari dua kata *micro*, yang berarti kecil, dan *strip* yang berarti keping. Antena mikrostrip didefinisikan sebagai antenna berbentuk kepingan yang berukuran kecil. Antena mikrostrip memiliki kelebihan antara lain :

1. Mempunyai ukuran yang ringkas dan kecil
 2. Kemudahan fabrikasi, dan biaya yang rendah dalam fabrikasi
 3. Bisa dilakukan perancangan dua polarisasi dan *multiband* frekuensi
 4. Mudah untuk diintegrasikan dengan rangkaian gelombang mikro
- Namun antenna mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan antara lain:
1. *Bandwidth* sempit
 2. *Gain* rendah
 3. Rugi-rugi hambatan yang besar pada pencatutan antenna *array*
 4. Daya yang dapat diradiasikan (*power handling*) rendah

Antena mikrostrip adalah antena yang memiliki struktur dielektrik yang berada diantara elemen peradiasi dan *ground plane*. Antena mikrostrip dapat digunakan untuk menangkap gelombang elektromagnetik. Bentuk umum dari antena mikrostrip adalah lingkaran, segiempat, dipole, elips, segitiga dan bermacam bentuk lainnya.

2.2.1 Rectangular Patch Antenna [7]

Rectangular patch merupakan jenis antena mikrostrip yang paling banyak digunakan. Bentuknya berupa segiempat pada elemen peradiasinya. Model *rectangular patch antenna* juga mudah untuk dianalisis dengan analisis *transmission line*. Antena mikrostrip ini terdiri dari tebal (h) dan lebar (W) yang terbentang sepanjang (L).

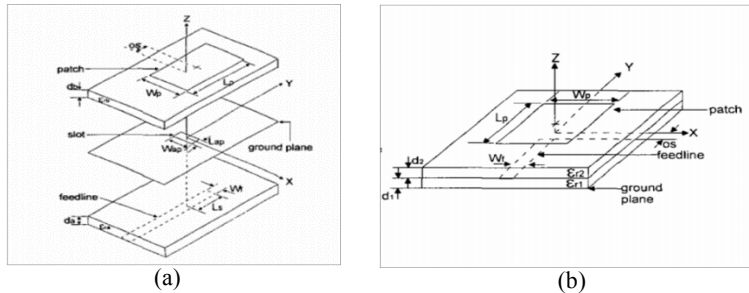
2.2.2 Feeding pada Antena Mikrostrip [8]

Feeding yang digunakan pada antena mikrostrip dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu *contacting* dan *non-contacting*. Untuk metode *contacting*, daya dialirkan secara langsung ke elemen peradiasi antena menggunakan elemen yang tersambung. Sedangkan untuk metode *non-contacting*, *coupling* elektromagnetik digunakan untuk transfer daya diantara *feed line* dan elemen peradiasi.

2.2.2.1 Metode Non-Contacting [9]

Contoh metode *non-contacting* adalah *aperture coupled feed*. *Aperture coupled feed* terdiri dari dua substrat berbeda yang terpisah oleh sebuah *ground plane*. Pada bagian bawah substrat terdapat *feed* mikrostrip dimana *coupling* elektromagnetik terdiri pada slot dari *ground plane* yang memisahkan dua substrat, seperti pada Gambar 2.1(a). Substrat paling atas menggunakan konstanta dielektrik yang lebih kecil dari substrat yang dibawah.

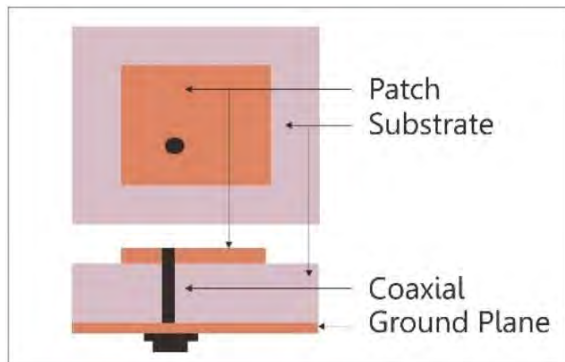
Contoh berikutnya adalah *proximity coupled feed* yang memiliki beberapa kelebihan yaitu *bandwidth* lebar dan radiasi *spurious* yang kecil. Panjang dari *stub* dan perbandingan panjang dan lebar *patch* digunakan untuk *matching*. Teknik *proximity coupled feed* ditampilkan pada Gambar 2.1(b).



Gambar 2.1 (a) *Aperture Coupled Feed* dan (b) *Proximity Coupled Feed* [9]

2.2.2.2 Metode Contacting

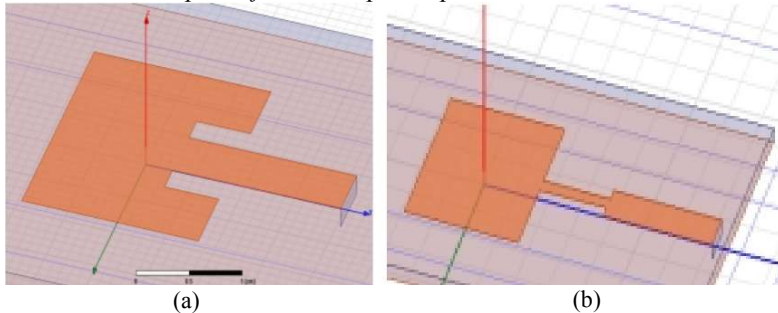
Salah satu contoh metode ini adalah *coaxial feed*. *Coaxial feed* seperti pada Gambar 2.2, konduktor dalam dari *coaxial* diletakkan pada elemen peradiasi dari antenna dan konduktor luar disambungkan dengan *ground plane* dari antenna. *Coaxial feed* memberikan impedansi *input* yang baik namun desain yang kompleks menjadi satu permasalahan dalam metode ini.



Gambar 2.2 *Coaxial Feed Antena Mikrostrip*

Contoh berikutnya dalam metode contacting adalah *microstrip line feed*. *Microstrip line feed* adalah salah satu cara yang paling mudah untuk mengimplementasikan *feeding* pada antenna. Teknik ini mudah untuk dimodelkan dan mudah dalam *matching impedance* antenna dengan saluran transmisi. Teknik pencatutan agar didapat impedansi antenna yang match juga bervariasi diantaranya adalah *inset fed* dan *edge fed*. *Inset fed* digunakan untuk mendapatkan antenna yang match dengan saluran

transmisi dengan memvariasikan *gap* dan posisi *inset* terhadap ujung pencatu antenna. Sedangkan untuk *edge fed*, *match* didapatkan dengan menggunakan transformator diantara antenna dan saluran transmisi. Contoh *microstrip line feed* ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Microstrip Line Feed (a) Inset Fed (b) Edge Fed [8]

2.3 Dimensi Antena Mikrostrip

Dalam perancangan antenna mikrostrip perlu dipahami beberapa parameter dasar yang mempengaruhi kerja suatu antenna.

2.3.1 Substrat

Mikrostrip dibentuk dari substrat dielektrik dan tembaga (*copper*) yang menempel dikedua sisinya. Substrat tersebut memiliki ketebalan dan konstanta dielektrik (ϵ_r) yang bervariasi dari berbagai jenis.

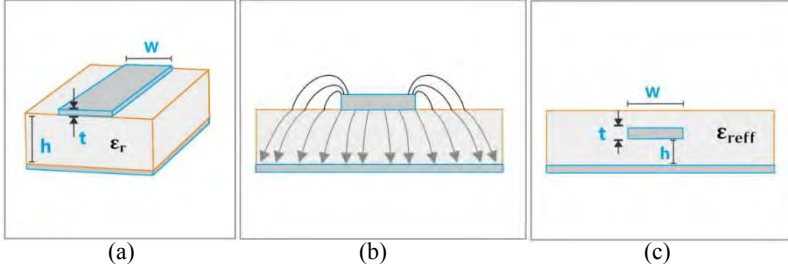
Pada penelitian kali ini digunakan substrat FR-4 yang memiliki konstanta dielektrik 4.3 pada *CST Microwave Studio 2012*. Namun, karena pada tempat pencetakan Antena, FR-4 memiliki range dari 4.3-4.9. Sehingga penulis menetapkan konstanta dielektrik 4.4 dengan ketebalan 1.6 mm.

2.3.2 Lebar (W) dan Panjang (L)

Mikrostrip terdiri dari tembaga tipis yang ditempatkan pada substrat dielektrik dengan ketebalan (h). Panjang (L) mempengaruhi frekuensi resonansi dan lebar (W) menentukan impedansi *input* dari antenna.

Akibat dari adanya *fringing effect* pada panjang (L) yang menyebabkan medan listrik merambat melalui dua media terpisah yaitu substrat dan sebagian lagi merambat diudara, menyebabkan analisis yang lebih akurat ketika menggunakan konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}).

Konstanta dielektrik efektif didefinisikan sebagai konstanta dielektrik dari material yang seragam sehingga didapatkan model saluran mikrostrip seperti pada Gambar 2.4(c) yang identik dengan saluran mikrostrip aslinya seperti pada Gambar 2.4(a) [7].



Gambar 2.4 (a) *Microstrip Line* (b) *Electric Field Lines* dan (c) Konstanta Dielektrik Efektif

Nilai ϵ_{reff} didapatkan dari persamaan berikut :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} \quad (2.1)$$

Untuk lebar (W) dari *rectangular antenna* didapat dari persamaan

$$W = \frac{C_0}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.2)$$

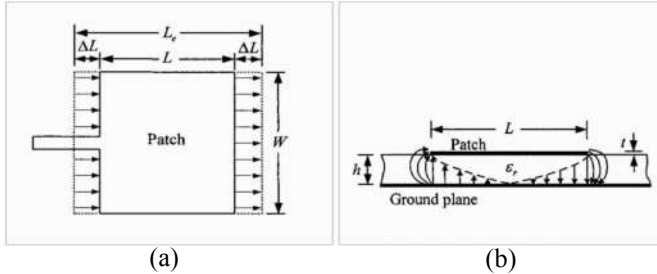
Panjang tambahan antenna akibat dari panjang efektif (L_e) seperti dalam Gambar 2.5(a) didapatkan dari persamaan berikut :

$$\Delta L = 0.414h \frac{(\epsilon_r + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.262 \right)}{(\epsilon_r - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.813 \right)} \quad (2.3)$$

Sehingga panjang aktual (L) dari antenna sekarang adalah

$$L = \frac{C_0}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (2.4)$$

Dimana f adalah frekuensi resonansi mode TE_{01} dan C_0 adalah cepat rambat cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s).



Gambar 2.5 Dimensi Mikrostrip (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Samping

2.4 Parameter Dasar Antena

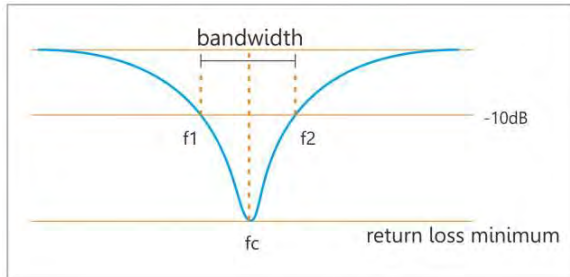
Dalam perancangan antena perlu diketahui kinerja dari antena tersebut agar nantinya antena sesuai dengan kebutuhan yang ingin dipenuhi, kinerja suatu antena dapat diketahui melalui parameter antena, parameter tersebut antara lain.

2.4.1 Bandwidth [7]

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana kinerja suatu perangkat masih dapat ditoleransi untuk digunakan. Untuk mengetahui seberapa besar *bandwidth*, dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$B = f_1 - f_2 \quad (2.5)$$

Di mana f_1 adalah frekuensi tertinggi, dan f_2 adalah frekuensi terendah dalam satuan hertz (Hz). Ada beberapa jenis *bandwidth* yaitu *impedance bandwidth* dan *pattern bandwidth*. *Impedance bandwidth* merupakan rentang frekuensi dimana *patch* antena berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu.



Gambar 2.6 Rentang Frekuensi dari *Bandwidth* Antena

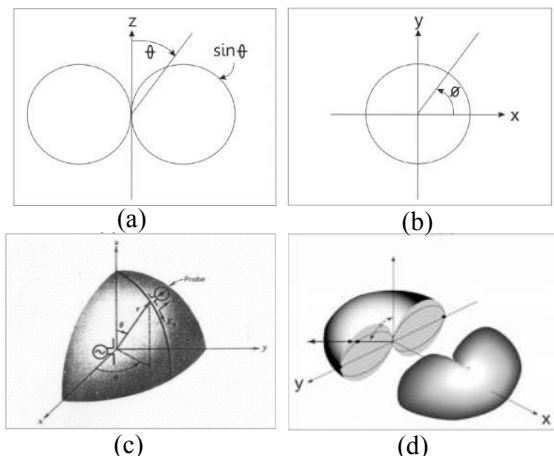
Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antena bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai yang masih dianggap baik adalah kurang dari -10 dB untuk *return loss* dan kurang dari 2 untuk VSWR. Sedangkan untuk *pattern bandwidth* didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana *beamwidth*, *sidelobe* atau *gain* yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antena agar nilai *bandwidth* dapat dicari.

2.4.2 Pola Radiasi

Pola radiasi antena diartikan sebagai representasi grafis dari sifat-sifat radiasi antena. Pola radiasi dapat diukur dengan menggerakkan antena ukur mengelilingi antena uji dengan jarak yang sama sebagai fungsi dari koordinat angular. Selama antena ukur bergerak, terdapat pola medan listrik (bidang-E) atau medan magnet (bidang-H) yang bervariasi sepanjang bidang bola.

Pola radiasi antena disebut juga pola medan (*field pattern*) jika yang digambarkan adalah kuat medan. Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, maka pola radiasi dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau relatif. Bentuk relatif artinya pola radiasi yang sudah ternormalisasi, dimana setiap nilai dari pola radiasi dibagi dengan nilai maksimumnya, sehingga pola radiasi yang ternormalisasi memiliki persamaan :

$$F_{(\theta,\phi)} = \frac{P_{(\theta,\phi)}}{E_{(\theta,\phi)max}} \quad (2.6)$$



Gambar 2.7 Plot Polar Pola Radiasi pada Antena Dipole Ideal (a) Bidang-E (b) Bidang-H (c) Skema Pengukuran Pola Radiasi (d) Pola Radiasi Tiga Dimensi [6]

Karena *pointing vector* hanya mempunyai komponen radiasi yang berbanding lurus dengan kuadrat *magnitude* kuat medannya, maka pola daya yang dinyatakan dalam pola ternormalisasi sama dengan kuadrat dari pola medan yang sudah ternormalisasi.

$$P_{(\theta,\phi)} = |F_{(\theta,\phi)}|^2 \quad (2.7)$$

Pada umumnya pola radiasi antena digambarkan dalam satuan desibel. Nilai desibel dari intensitas medan didapatkan dengan persamaan :

$$P_{(\theta,\phi)} = 20 \log |F_{(\theta,\phi)}| \quad (2.8)$$

Pola radiasi terdiri dari tiga bagian yaitu *main lobe*, *side lobe*, dan *back lobe*. *Main lobe* adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas tertinggi. *Side lobe* adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas yang lebih rendah dari *main lobe*. *Back lobe* adalah daerah radiasi yang memiliki arah bertolak belakang dengan *main lobe*. *Main lobe* terdiri dari HPBW dan *Beamwidth Between First Null* (BWFN). HPBW adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengah (-3dB) dari intensitas tertinggi. BWFN adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol.

Untuk mendapatkan pola radiasi maka diperlukan pengukuran, pada pengukuran pola radiasi antenna faktor jarak menjadi penting. Semakin jauh jarak pengukuran maka hasil pengukuran yang didapatkan akan semakin baik, tapi kita bisa melakukan pada jarak yang tidak terhingga. Karena itu untuk mendapatkan hasil pengukuran yang basik maka pengukuran dilakukan pada jarak yang sudah dianggap sebagai medan jauh. Untuk menentukan jarak medan jauh bisa didapatkan menggunakan persamaan :

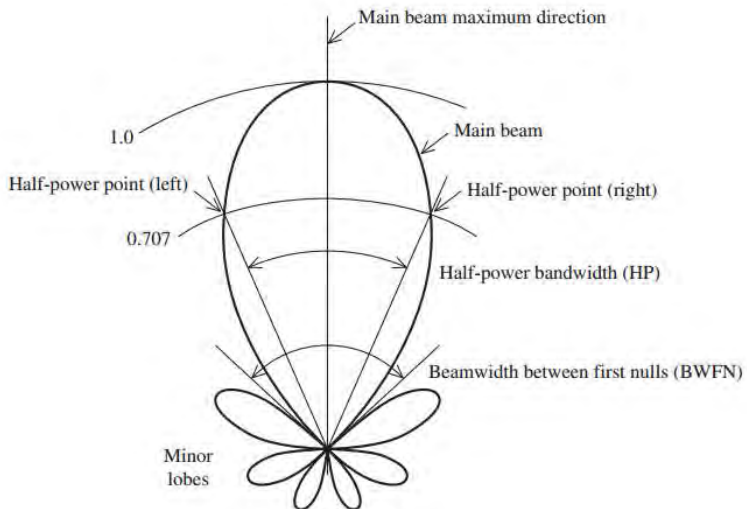
$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \text{ dengan } r \gg D \text{ dan } r \gg \lambda \quad (2.9)$$

Keterangan

r : Jarak pengukuran

D : Panjang dari antenna

λ : Panjang gelombang yang dipancarkan antenna



Gambar 2.8 Pola Radiasi Antena [6]

Berdasarkan bentuk polanya, pola radiasi terbagi menjadi tiga macam yaitu :

1. *Isotropic*

Pola radiasi *isotropic* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi yang sama ke segala arah, sehingga memiliki bentuk seperti bola.

2. *Omnidirectional*

Pola radiasi *omnidirectional* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke segala arah.

3. *Directional*

Pola radiasi *directional* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi pada arah tertentu saja.

2.4.3 Direktivitas [7]

Direktivitas adalah perbandingan antara intensitas radiasi dari arah yang diberikan oleh antenna terhadap intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan total daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud dengan arah pada intensitas radiasi maksimum. Direktivitas dapat dituliskan sebagai :

$$D = \frac{U}{U_{\sigma}} = \frac{4\pi}{P_r} \quad (2.10)$$

Di mana :

D = Direktivitas maksimum (tanpa dimensi)

U = Intensitas radiasi (W/unit solid angle)

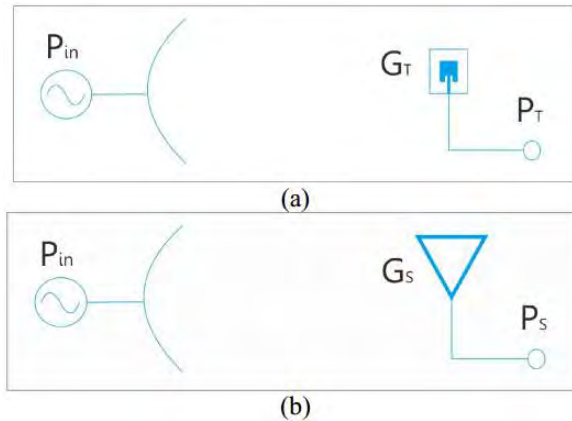
U_{σ} = Intensitas radiasi pada sumber isotropik (W/unit solid angle)

P_r = Daya total yang diradiasikan (W)

2.4.4 Gain [6]

Gain didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi suatu arah terhadap intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropik.

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_r} \quad (2.11)$$



Gambar 2.9 (a) Pengukuran Daya Terima Antena Referensi (P_S) dan (b) Pengukuran Daya Terima Antena Uji (P_T)

Terdapat juga *relative gain* yang didefinisikan sebagai perbandingan perolehan daya pada suatu arah yang terhadap daya dari antena referensi. Daya masukan harus sama untuk kedua antena.

Pengukuran *gain* maksimum dapat dilakukan dengan menggunakan antena referensi dengan *gain* yang sudah diketahui (G_S) dan memiliki polarisasi yang sama dengan antena yang akan diukur pada jarak yang ditentukan seperti pada Gambar 2.9. Dari pengukuran tersebut *gain* maksimum antena yang diukur dapat diperoleh dari :

$$G_T(dB) = P_T(dB) - P_S(dB) + G_S(dB) \quad (2.12)$$

Di mana :

P_T = Daya *output* maksimum antena yang diukur

P_S = Daya *output* maksimum antena referensi

G_T = *Gain* maksimum antena yang diukur

G_S = *Gain* maksimum antena referensi

2.4.5 VSWR dan Return Loss [10]

Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan yaitu tegangan yang datang dan tegangan yang direfleksikan. Bila impedansi saluran transmisi tidak *match* dengan impedansi antena maka akan timbul refleksi. Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan (V^-) dengan tegangan yang datang (V^+) direpresentasikan sebagai

koefisien refleksi (Γ). Dalam kondisi *match*, koefisien refleksi akan bernilai nol ($\Gamma = 0$). Ketika magnitudo koefisien refleksi bernilai satu ($|\Gamma|=1$) berarti gelombang yang datang dipantulkan seluruhnya. Koefisien refleksi dituliskan pada persamaan (2.13)

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.13)$$

Dimana Z_L merupakan impedansi beban dan Z_0 adalah impedansi saluran transmisi.

Untuk memberikan nilai saat kondisi *mismatch* digunakan *standing wave ratio* atau yang lebih dikenal sebagai *voltage standing wave ratio* (VSWR). VSWR merupakan perbandingan tegangan maksimum dengan tegangan minimum dan dituliskan pada persamaan (2.14)

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.14)$$

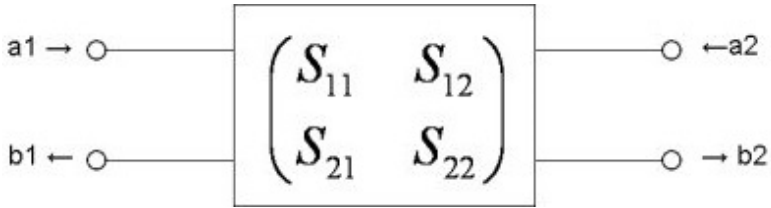
Kondisi *mismatch* juga dapat dituliskan sebagai suatu nilai yang disebut *return loss* (RL) yang merupakan perbandingan daya yang dipantulkan (P_r) dengan daya yang diterima (P_i) atau :

$$RL = -10 \log \left(\frac{P_r}{P_i} \right) = -10 \log |\Gamma_{in}|^2 = -20 \log |\Gamma_{in}| \quad (2.15)$$

Dimana Γ_{in} adalah koefisien refleksi *input*. *Return loss* pada persamaan (2.10) dalam satuan desibel (dB) dengan logaritma basis 10.

2.4.6 Scattering Parameter (S-Parameter)

S-Parameter adalah besaran yang menggambarkan hubungan dari terminal masukan dan keluaran dari suatu saluran transmisi yang berkaitan dengan daya sinyal yang diteruskan maupun dipantulkan [10]. Konsep S-Parameter dalam dua terminal dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Konsep S-Parameter dengan Dua Terminal [10]

Dengan keterangan :

- S_{11} = Perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 1
- S_{21} = Perbandingan daya yang masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2
- S_{12} = Perbandingan daya yang masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1
- S_{22} = Perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 2
- a_1 = Daya yang masuk dari terminal 1
- a_2 = Daya yang masuk dari terminal 2
- b_1 = Daya yang keluar ke terminal 1
- b_2 = Daya yang keluar ke terminal 2

Dari gambar maka didapatkan persamaan :

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.16)$$

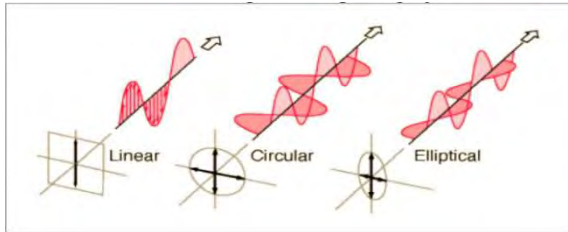
$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.17)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.18)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.19)$$

2.5 Polarisasi [7]

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan listrik yang bervariasi menurut waktu. Polarisasi dapat diklarifikasikan sebagai linier, melingkar dan elips seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Polarisasi Gelombang

2.5.1 Polarisasi Linier

Polarisasi linier terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan listrik atau medan magnetik selalu berorientasi pada garis lurus yang sama setiap waktu. Polarisasi linier terjadi jika vektor medan hanya memiliki satu komponen.

2.5.2 Polarisasi Melingkar

Polarisasi melingkar terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan listrik atau medan magnetik berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi dari waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai polarisasi adalah :

1. Medan harus mempunyai dua komponen linier orthogonal.
2. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo sama.
3. Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil dari 90° .

2.5.3 Polarisasi Elips

Polarisasi elips terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan listrik dan medan magnetik berada pada jalur elips. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapat polarisasi ini adalah :

1. Medan harus mempunyai dua komponen linier orthogonal.
2. Kedua komponen tersebut dapat memiliki magnitudo yang sama ataupun berbeda.
3. Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai 0° atau kelipatan dari 180° . Jika kedua komponen tersebut berada pada magnitudo yang sama perbedaan fasa waktu harus bukan merupakan kelipatan ganjil dari 90° .

2.6 Saluran Mikrostrip [10]

Untuk keperluan perancangan pada saluran mikrostrip digunakan suatu rumus yang memungkinkan untuk mendapatkan nilai perbandingan antara lebar (W) dengan ketebalan (h) saluran mikrostrip berdasarkan pada impedansi saluran (Z_0) yang telah ditentukan dan konstanta dielektrik (ϵ_r) dari substrat. Untuk $W/h \leq 2$:

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (2.20)$$

Di mana faktor A didapat dari :

$$A = 2\pi \frac{Z_0}{Z_f} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.21)$$

Untuk $W/h \geq 2$ didapat dari persamaan berikut :

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left(\frac{B - 1 - \ln(2B - 1)}{2\epsilon_r} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right) \quad (2.22)$$

Di mana faktor B didapat dari :

$$B = \frac{Z_f \pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.23)$$

dan Z_f adalah nilai impedansi gelombang di ruang bebas (376.8Ω).

Untuk keperluan perancangan pada saluran mikrostrip terkadang memerlukan parameter panjang gelombang (λ) untuk diketahui. Panjang gelombang (λ) pada saluran mikrostrip dapat dicari dari kecepatan propagasi (v_p) :

$$v_p = \frac{C_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.24)$$

Sehingga panjang gelombang dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut

$$\lambda = \frac{v_p}{f} \quad (2.25)$$

Di mana f merupakan frekuensi kerja pada saluran mikrostrip, C_0 merupakan cepat rambat cahaya di ruang bebas ($2998 \times 10^8 \text{ m/s}$) dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang didapatkan dari persamaan (2.1).

2.7 Fresnel Zone [11]

Konsep kejernihan zona Fresnel dapat digunakan untuk menganalisa interferensi dan gangguan yang disebabkan oleh halangan yang terdapat pada jalur sorotan gelombang radio. Zona yang pertama harus diletakkan pada suatu ketinggian yang bebas hambatan untuk menghindari interferensi pada penerimaan gelombang radio.

Untuk membuat sebuah zona Fresnel, pertama kali haruslah ditentukan RF *Line of Sight* (RF LoS), yaitu suatu garis lurus antara antena pemancar dan penerima. Zona di sekitar RF LoS tersebut akan menjadi zona Fresnel.

Persamaan zona Fresnel pada titik P sepanjang garis lurus RF LoS adalah:

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.26)$$

Di mana :

F_n = Radius zona Fresnel urutan ke n (meter)

λ = Panjang gelombang dari sinyal yang dipancarkan (meter)

d_1 = Jarak dari titik P ke salah satu antena (meter)

d_2 = Jarak dari titik P ke antena yang lain (meter)

Radius maksimal penampang melintang dari zona Fresnel yang pertama terletak pada titik tengah garis lurus RF LoS dapat dihitung :

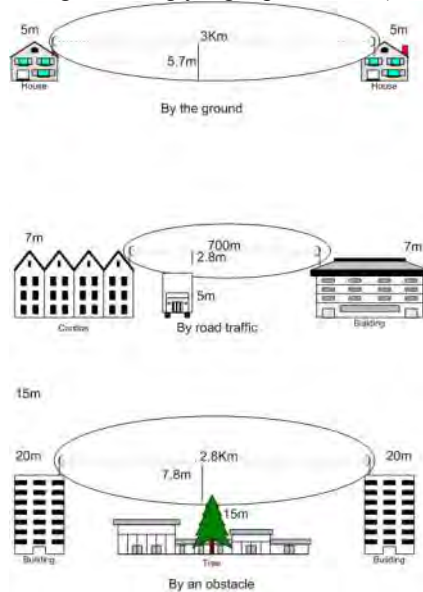
$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad (2.27)$$

Di mana :

r = Radius zona Fresnel (meter)

D = Jarak antara antena pemancar dan penerima (kilometer)

f = Frekuensi gelombang yang dipancarkan (meter)

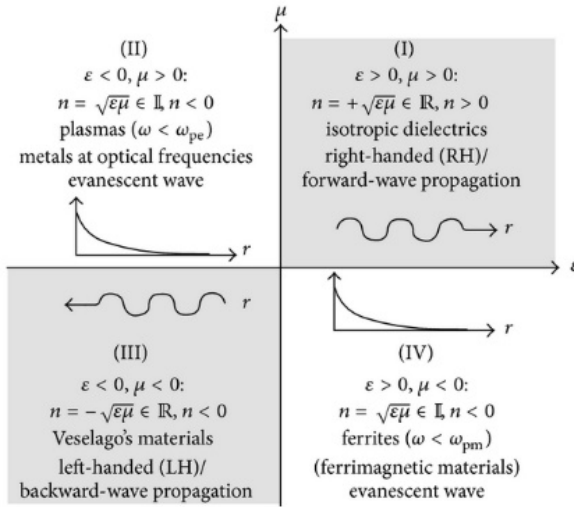


Gambar 2.12 Beberapa Contoh Disrupsi yang Dapat Terjadi pada Zona Fresnel

2.8 Metamaterial Absorber

Metamaterial merupakan suatu material buatan yang tidak dapat ditemukan langsung di alam. Semua material alam memiliki permitivitas, permeabilitas, dan indeks refraksi yang positif. Metamaterial biasa disebut dengan *Negative Index Materials (NIM)*, *Double Negative (DN) media*, *Left Handed (LH) materials*, atau *Backward Wave (BW) media* yang memiliki permitivitas dan permeabilitas negatif [12].

Suatu struktur homogen yang efektif merupakan suatu struktur yang memiliki ukuran sel p rata-rata jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan panjang gelombangnya λ_g . Ukuran sel rata-rata setidaknya harus lebih kecil dari seperempat panjang gelombang atau $p < \lambda_g/4$. Sehingga nilai $p < \lambda_g/4$ merupakan batas homogenitas efektif.



Gambar 2.13 Diagram Permittivitas dan Permeabilitas

Parameter-parameter yang berkaitan dengan metamaterial adalah permitivitas dan permeabilitas, yang juga terkait dengan nilai indeks bias n yang ditunjukkan oleh persamaan:

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (2.27)$$

Dimana:

n = Nilai Indeks Bias

ϵ_r = Permittivitas Relatif

μ_r = Permeabilitas Relatif

Terdapat empat kombinasi dari nilai permitivitas dan permeabilitas yaitu (+,+), (+,-), (-,+), dan (-,-) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. Kombinasi nilai pertama (+,+) merupakan kombinasi yang saat ini banyak dikenal pada material konvensional. Sedangkan kombinasi nilai (-,-) atau nilai permitivitas dan permeabilitas negatif merupakan suatu material baru yang terkait dengan material *left-handed*. Material LH merupakan hasil kombinasi dari nilai permitivitas dan

permeabilitas negatif yang memiliki fase dan kecepatan grup antiparalel atau *Negative Refractive Index*.

2.9 Mutual Coupling [13]

Interaksi elektromagnetik antara elemen antenna *array* disebut *mutual coupling*. Berdasarkan sifatnya, *mutual coupling* memiliki efek yang berbeda antara antenna pengirim dan penerima, jadi harus diperlakukan berbeda. Bisa dikatakan bahwa *mutual coupling* adalah interaksi yang tidak diinginkan karena energi pancaran yang seharusnya diterima oleh antenna penerima tetapi diserap oleh antenna lain didekatnya. Efek *mutual coupling* cukup serius jika jarak antar elemen peradiasi sangat dekat [12]. Dan akan :

1. Mengubah pola radiasi antenna
2. Mengubah tegangan elemen yang diterima
3. Mengubah *matching* karakteristik dari antenna (*impedansi input*)

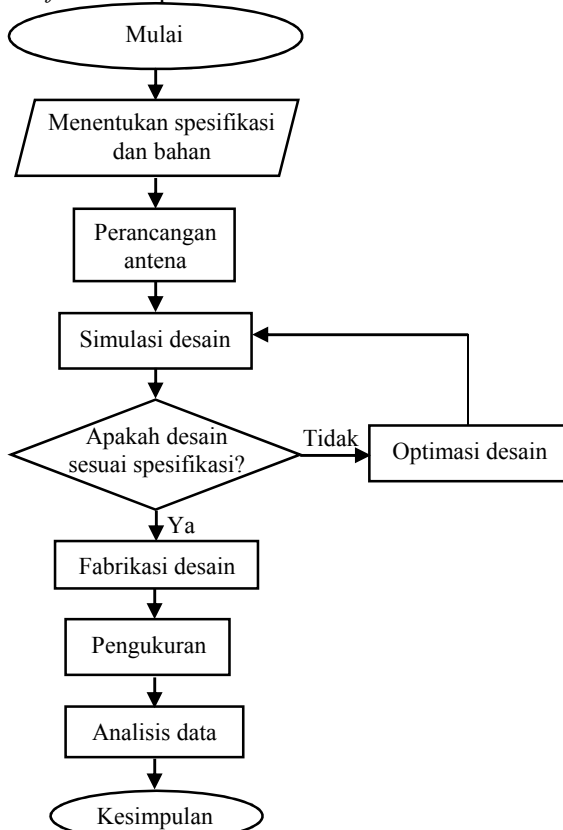
Sehingga *mutual coupling* bukan hanya dapat menurunkan efisiensi antenna tapi juga mengubah pola radiasi antenna. *Mutual coupling* biasanya berpengaruh pada antenna *array* yang berdekatan.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Diagram Alir Perancangan

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perencanaan dan implementasi dari antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* yang bekerja pada 2.4 GHz. Tahapan-tahapan yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Perancangan Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

Proses pengerjaan dimulai dengan menentukan kinerja antenna yang diinginkan dengan menentukan bahan, dan spesifikasi antenna yang diinginkan. Setelah mengetahui parameter yang diinginkan dilanjutkan dengan perancangan antenna. Pada tahap perancangan antenna terbagi menjadi tiga bagian yaitu perancangan antenna mikrostrip yang akan menentukan dimensi antenna yang lain, lalu antenna mikrostrip *array* yang memiliki jarak seperdelapan panjang gelombang, kemudian antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*.

Pada tahap perancangan antenna mikrostrip ditentukan desain dari antenna mikrostrip dan dilakukan simulasi untuk melihat kinerja antenna mikrostrip tersebut. Jika kinerja antenna mikrostrip tidak sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan optimasi dimensi antenna mikrostrip. Setelah melakukan perancangan antenna mikrostrip, maka tahap selanjutnya adalah perancangan antenna mikrostrip *array*. Pada tahap ini antenna mikrostrip dirancang menjadi antenna mikrostrip *array* yang memiliki jarak seperdelapan gelombang. Pada perancangan antenna mikrostrip *array*. Setelah perancangan selesai maka rancangan tersebut disimulasikan untuk melihat apakah kinerja antenna mikrostrip *array* sesuai dengan yang diinginkan atau tidak, jika hasil simulasi tidak sesuai, maka dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Kemudian selanjutnya adalah perancangan *metamaterial absorber* yang diposisikan diantara antenna mikrostrip tersebut. Ditentukan terlebih dahulu dimensi dari *metamaterial absorber*, karena tidak ada formula perhitungan dimensi yang menjelaskan secara pasti tentang dimensi *metamaterial absorber* yang terpasang pada antenna mikrostrip. Jika hasil simulasi tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang sesuai.

Tahapan selanjutnya adalah fabrikasi yang dilakukan di tempat khusus pembuatan antenna mikrostrip. Setelah proses fabrikasi, dilanjutkan dengan pengukuran kinerja antenna mikrostrip *array* untuk melihat kinerja antenna mikrostrip *array* sesungguhnya. Data hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil simulasi dan dianalisis.

Tahapan terakhir adalah pembuatan laporan penelitian tugas akhir berdasarkan data-data penelitian yang telah diperoleh. Diharapkan laporan yang telah dibuat dapat membantu dalam penelitian perancangan antenna lainnya khususnya antenna *array*.

3.2 Penentuan Kriteria dan Spesifikasi Antena Mikrostrip Patch

Perancangan antena mikrostrip *patch* dimulai dengan menentukan parameter dan nilai parameter dari antena yang diinginkan sebelum disimulasikan menggunakan *CST Microwave Studio 2012*. Parameter yang dibutuhkan antara lain *Return Loss*, *VSWR*, dan Impedansi *Input*. Nilai dari parameter yang telah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Antena Mikrostrip *Patch* yang Diinginkan

Parameter	Nilai yang Diinginkan
<i>Return loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
<i>Input impedance</i>	$\pm 50 \Omega$

Selain menentukan kriteria desain, pada perancangan ini juga harus ditentukan spesifikasi substrat dan *patch* yang akan digunakan dalam perancangan maupun implementasi antena. Spesifikasi substrat dan *patch* antena dijelaskan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat dan *Patch* Antena

Frekuensi	2.4 GHz
Jenis Substrat	FR-4 <i>Epoxy (Fiber Glass)</i>
Jenis <i>Patch</i>	Tembaga
Konstanta Dielektrik	4.4
Tebal Substrat	1.6

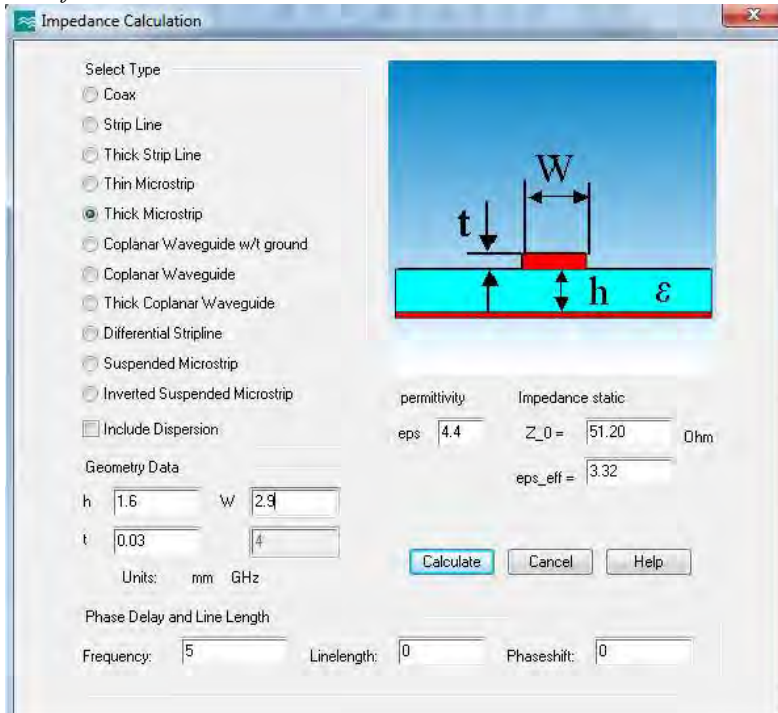
3.3 Simulasi Antena

Simulasi antena akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio 2012*. Sebelum memulai simulasi, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan agar sesuai dengan yang diharapkan.

3.3.1 *Impedance Calculation*

Impedance calculation adalah salah satu fitur yang terdapat *CST Microwave Studio 2012*. Karena pada tugas akhir ini menggunakan antena mikrostrip, maka dipilih *Thick Microstrip*. Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah 50Ω , untuk menghitung secara otomatis impedansi *input* dengan memasukkan variabel permitivitas substrat, tinggi *patch*,

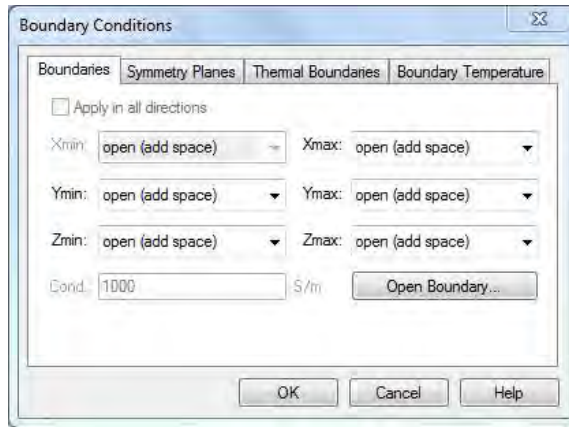
tinggi substrat, dan lebar *feed* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2. Karena, tingkat akurasi pencetakan antenna sebesar 0.1 mm, maka dipilih lebar *feed* 2.9 mm.



Gambar 3.2 Tampilan *Impedance Calculation* pada *CST Microwave Studio 2012*

3.3.2 *Boundary Conditions*

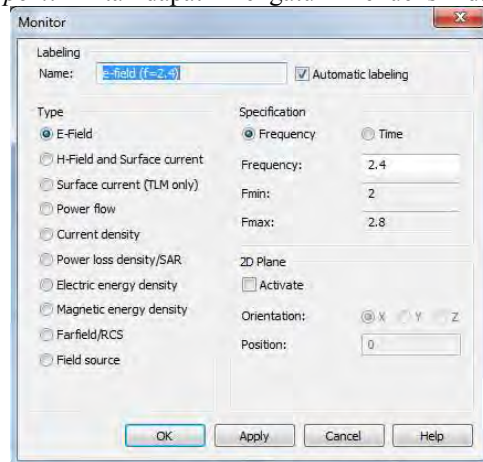
Boundary conditions berfungsi sebagai batas wilayah didaerah antenna. Karena komputasi dari komputer hanya mampu menghitung sesuatu yang memiliki batas, sehingga harus mengatur *boundary conditions* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pilihan yang dapat dipilih yaitu *Electric*, *Magnetic*, *Open*, *Open (add space)*, *Periodic*, *Conducting Wall* dan *Unit Cell*. Karena simulasi antenna akan melihat *farfield*, maka *boundary conditions* disetting *Open (add space)*.



Gambar 3.3 Tampilan *Boundary Conditions* pada *CST Microwave Studio 2012*

3.3.3 *Field Monitors*

Field monitors digunakan untuk mengetahui distribusi medan elektromagnetik yang terdapat pada antenna yang disimulasikan melalui *waveguide port*. Kita dapat mengatur frekuensi dari gelombang



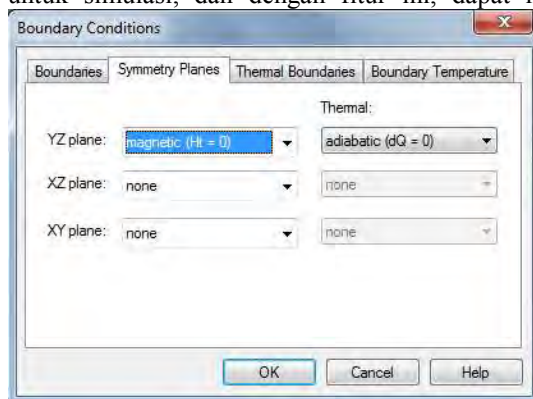
Gambar 3.4 Tampilan *Field Monitors* pada *CST Microwave Studio 2012*

elektromagnetik yang bekerja pada antenna, karena antenna yang diinginkan memiliki frekuensi kerja pada 2.4 GHz, maka kita masukkan nilai pada

frekuensi sebesar 2.4 yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. Lalu kita pilih tipe apa saja yang berpengaruh pada antenna. Untuk simulasi kali ini, tipe yang dipilih adalah *E-Field*, *H-Field* and *Surface Current*, dan *Farfield/RCS*.

3.3.4 Symmetry Planes

Jika memiliki model antenna yang simetris, maka *symmetry planes* dapat diatur agar mengurangi waktu simulasi. Ini merupakan salah satu fitur yang paling berguna pada *CST Microwave Studio 2012*, karena jika membuat antenna yang besar sehingga membutuhkan waktu berminggu-minggu untuk simulasi, dan dengan fitur ini, dapat mempersingkat

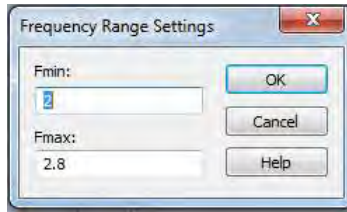


Gambar 3.5 Tampilan *Symmetry Planes* pada *CST Microwave Studio 2012*

simulasi hanya beberapa hari. Tapi harus mengetahui apa dan pada bidang apa yang simetris. Pilihan yang dapat dipilih adalah *Magnetic*, *Electric*, dan *None*. Karena antenna mikrostrip *patch* mengarah pada *z*, dan arah arus berasal pada *y*. Sehingga memiliki bidang simetris untuk *magnetic* pada bidang *YZ* seperti yang ada pada Gambar 3.5.

3.3.5 Frequency Range Settings

Frequency range settings adalah untuk menentukan batas bawah dan batas atas frekuensi yang akan kita simulasikan. *Frequency range settings* juga mempengaruhi waktu simulasi yang akan dilakukan. Semakin besar range frekuensi yang disimulasikan, maka akan memakan waktu simulasi yang lebih lama. Karena *mesh cells* akan semakin banyak, dan semakin banyak pula yang harus dihitung oleh komputer. Kita ingin



Gambar 3.6 Tampilan *Frequency Range Settings* pada *CST Microwave Studio 2012*

mensimulasikan pada frekuensi 2.4 GHz. Sehingga, batas frekuensi bawah (F_{min}) diatur pada 2 yang berarti 2 GHz, dan batas frekuensi atas (F_{max}) diatur pada 2.8 yang berarti 2.8 GHz yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.

3.3.6 *Waveguide Port*

Waveguide port adalah tempat dibangkitkannya sinyal yang akan bekerja pada antenna yang disimulasikan. Sehingga penempatan dari



Gambar 3.7 Tampilan *Waveguide Port* pada *CST Microwave Studio 2012*

waveguide port sangat penting untuk simulasi seperti yang diinginkan untuk diukur. *CST Microwave Studio 2012* juga memiliki fitur *Calculate Port Extension Coefficient* untuk menghitung secara otomatis besar *port* yang digunakan pada antenna mikrostrip *patch*.

3.4 Optimasi dan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Patch

Setelah melakukan *parameter sweep* pada simulasi antenna mikrostrip, kita dapat melihat parameter-parameter yang disimulasikan. Hasil dari parameter-parameter tersebut akan menjadi hasil yang menjadi referensi untuk pengukuran antenna mikrostrip nanti.

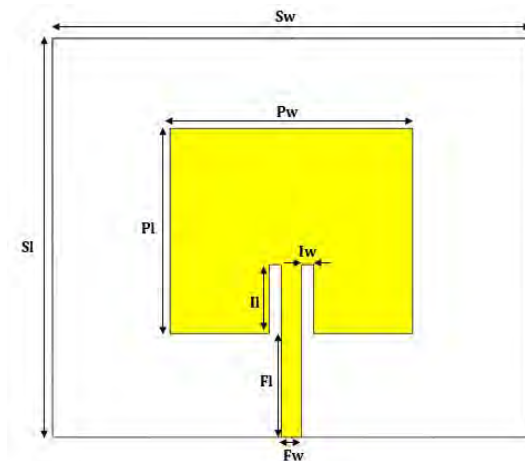
Contoh hasil dimensi antenna mikrostrip *patch* yang telah dioptimasi menggunakan software *CST Microwave Studio 2012* dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.8.

Tabel 3.3 Dimensi Antena Mikrostrip Patch Setelah Dioptimasi

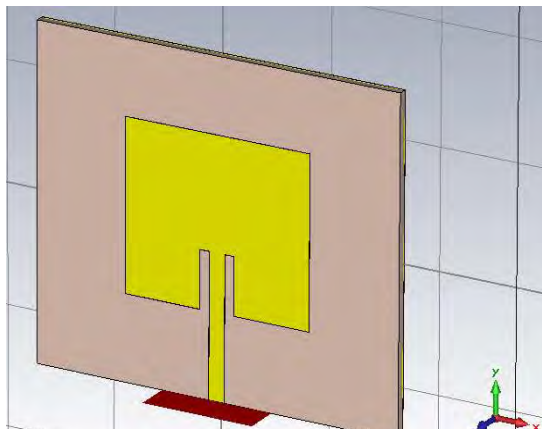
Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
<i>Ph</i>	0.03	<i>Patch Height</i>
<i>Sh</i>	1.6	<i>Substrate Height</i>
<i>Sl</i>	56	<i>Substrate Length</i>
<i>Sw</i>	67	<i>Substrate Width</i>
<i>Pl</i>	28.8	<i>Patch Length</i>
<i>Pw</i>	34.1	<i>Patch Width</i>
<i>Il</i>	9.7	<i>Inset Length</i>
<i>Iw</i>	1.7	<i>Inset Width</i>
<i>Fl</i>	14.5	<i>Feed Length</i>
<i>Fw</i>	2.9	<i>Feed Width</i>

Tampilan antenna mikrostrip secara perspektif yang telah dioptimasi dapat dilihat pada Gambar 3.9. Frekuensi bawah ditentukan pada 2 GHz dan frekuensi atas adalah 2.8 GHz, dengan frekuensi tengah dari antenna mikrostrip adalah 2.4 GHz.

Pada Gambar 3.10 merupakan optimasi antenna mikrostrip menggunakan *parameter sweep* dalam simulasi. *Parameter sweep* digunakan untuk mengetahui perubahan S11-Parameter akibat dari perubahan dimensi antenna. Pada Gambar 3.10 dilakukan *sweep* pada variabel *Il* yang merupakan variabel *inset length* seperti yang diterangkan pada Gambar 3.8 untuk mendapatkan hasil terbaik pada S11-Parameter.

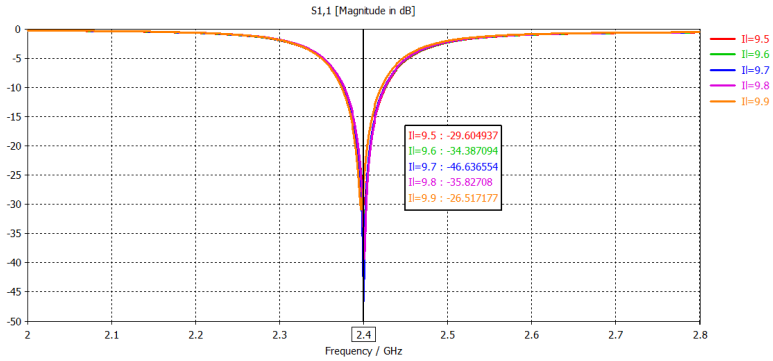


Gambar 3.8 Dimensi Antena Mikrostrip *Patch*



Gambar 3.9 Tampilan Antena Mikrostrip *Patch* yang Dioptimasi secara Perspektif

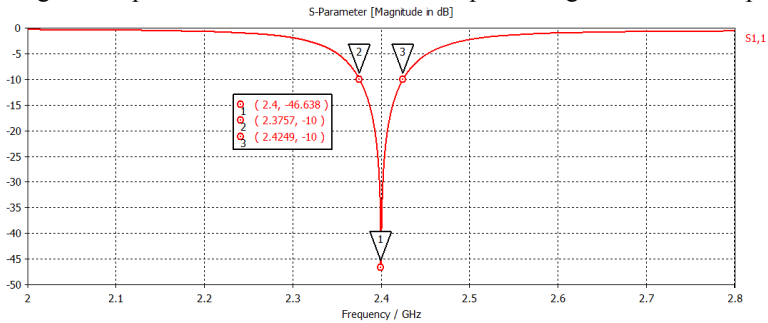
Setelah melakukan *parameter sweep* pada simulasi antena mikrostrip, kita dapat melihat parameter-parameter yang disimulasikan. Hasil dari parameter-parameter tersebut akan menjadi hasil yang menjadi referensi untuk pengukuran antena mikrostrip nanti.



Gambar 3.10 Simulasi *Inset Length* dengan *Parameter Sweep*

3.4.1 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip *Patch*

Simulasi S-Parameter dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi kerja antena agar sesuai dengan kebutuhan. Gambar 3.11 merupakan hasil simulasi antena yang dirancang untuk dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 2.4 GHz. Dalam perancangan tersebut didapat

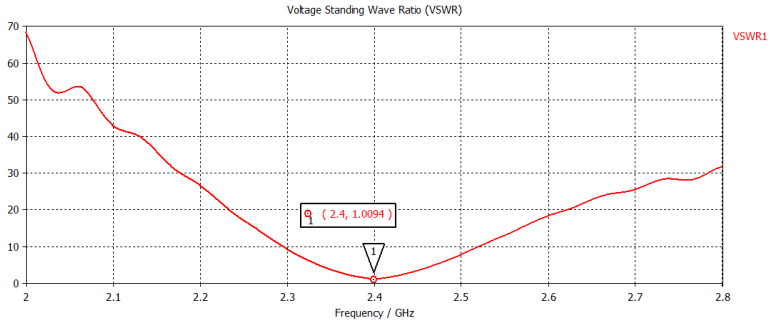


Gambar 3.11 Hasil S-Parameter dari Simulasi Antena Mikrostrip *Patch*

nilai S_{11} sebesar -46.64 dB pada frekuensi 2.4 GHz. Semakin rendah nilai S_{11} maka *return loss* semakin rendah. *Return loss* rendah menandakan daya yang dipantulkan sangat kecil dibanding dengan daya yang diterima oleh antena. Untuk menentukan *bandwidth* dari antena mikrostrip, dapat dihitung dari nilai *return loss* dibawah -10 dB. Sehingga, antena yang disimulasikan memiliki *bandwidth* sebesar 49.2 MHz.

3.4.2 Hasil VSWR Antena Mikrostrip Patch

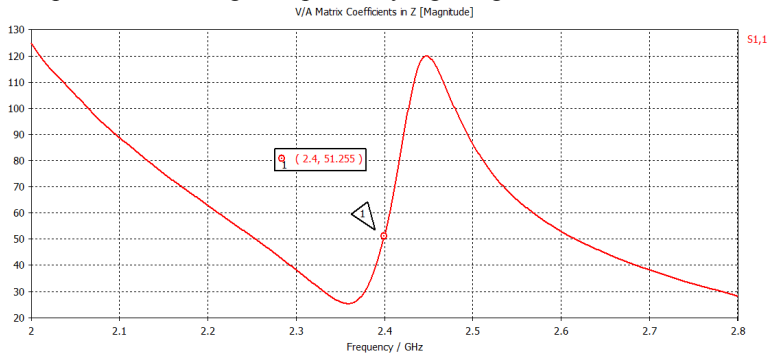
Pada Gambar 3.12 menunjukkan nilai VSWR dari antena mikrostrip yang disimulasikan. Nilai VSWR simulasi adalah 1.01. Nilai VSWR yang diinginkan adalah < 2 , sehingga sudah masuk kriteria yang diinginkan.



Gambar 3.12 Hasil VSWR dari Simulasi Antena Mikrostrip Patch

3.4.3 Hasil Impedansi Input Antena Mikrostrip Patch

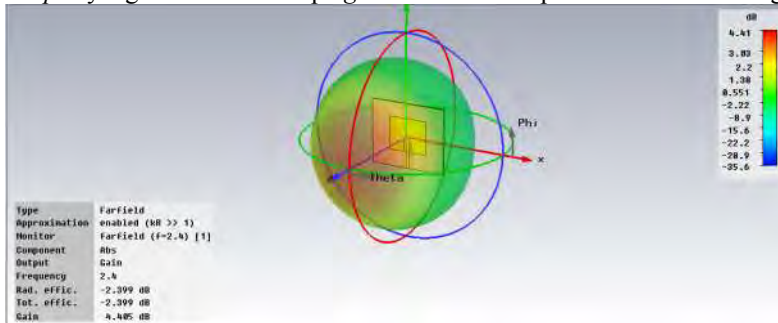
Pada Gambar 3.13 menunjukkan bahwa antena yang disimulasikan memiliki impedansi 51.25Ω dalam magnitudo linear. Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah 50Ω . Sehingga sudah cukup mendekati dengan impedansi yang diinginkan.



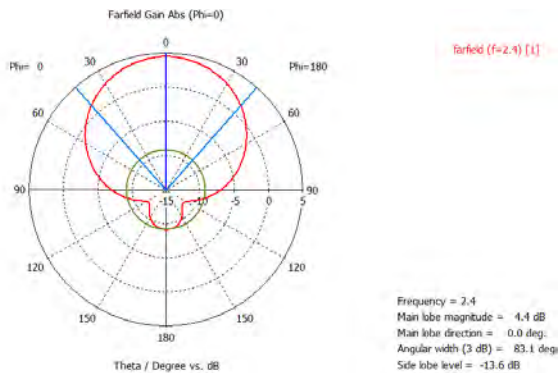
Gambar 3.13 Hasil Impedansi Input dari Simulasi Antena Mikrostrip Patch

3.4.4 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Patch* pada 2.4 GHz

Gambar 3.14 merupakan plot 3D pola radiasi antena mikrostrip dan Gambar 3.15 merupakan plot polar pola radiasi antena mikrostrip. *Output* yang dihasilkan berupa *gain*. Pola radiasi pada simulasi dihitung



Gambar 3.14 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Patch* pada 2.4 GHz

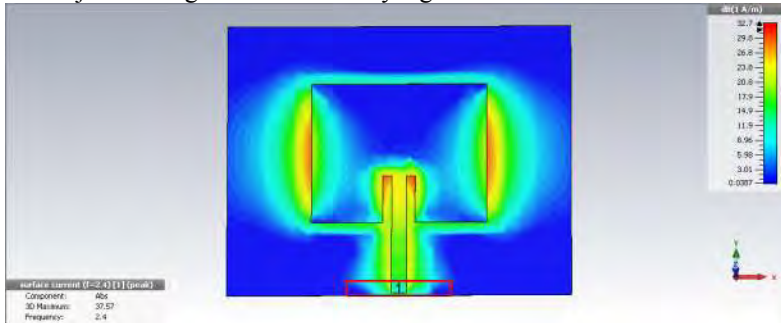


Gambar 3.15 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Patch* pada 2.4 GHz

pada medan jauh (*farfield*) antena dengan *gain* terbesar ditandai dengan warna merah dan *gain* terkecil dengan warna hijau. Dengan plot 3 dimensi ini dapat diketahui dengan mudah besar dan arah *gain* terbesar dari antena. *Gain* yang dihasilkan pada simulasi antena mikrostrip pada 2.4 GHz adalah 4.4 dB. Pada hasil plot polar, dapat diketahui *Side Lobe Level* (SLL) dari antena mikrostrip adalah -13.6 dB. Dan memiliki *Half Power Beam Width* (HPBW) pada 83.1°.

3.4.5 Hasil *Surface Current* Antena Mikrostrip Patch pada 2.4 GHz

Surface current pada Gambar 3.16 merupakan hasil simulasi yang menunjukkan distribusi arus pada permukaan antena dimana warna merah menunjukkan tingkat densitas arus yang tinggi dan warna biru menunjukkan tingkat densitas arus yang rendah.



Gambar 3.16 Hasil *Surface Current* dari Antena Mikrostrip Patch pada 2.4 GHz

3.5 Perancangan dan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Array

Perancangan antena mikrostrip *array* dimulai setelah mengetahui dimensi antena mikrostrip. Kemudian parameter yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Antena Mikrostrip *Array*

Parameter	Nilai yang Diinginkan
<i>Return loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
<i>Input impedance</i>	$\pm 50 \Omega$

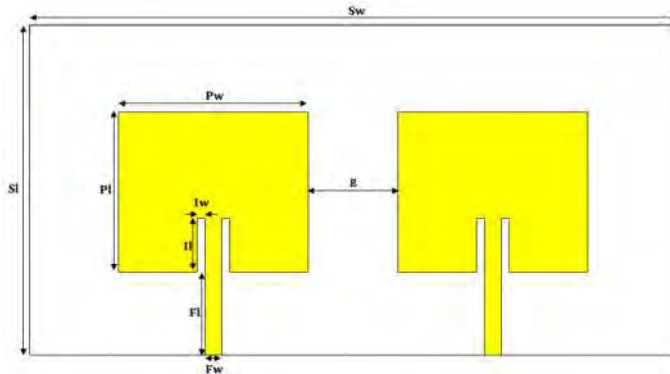
3.5.1 Dimensi Antena Mikrostrip *Array*

Setelah menentukan dimensi antena mikrostrip yang sesuai kriteria yang diinginkan, dilakukan penambahan antena yang berjarak seperdelapan panjang gelombang. Antena tambahan tersebut berfungsi sebagai penerima efek dari *mutual coupling* antena yang memancar disebelahnya. Antena yang diinginkan memiliki frekuensi kerja 2.4 GHz, sehingga jarak seperdelapan panjang gelombang adalah 15.625 mm. Karena akurasi pencetakan antena adalah 0.1 mm. Sehingga dipilih 15.6 mm.

Contoh hasil dimensi antenna mikrostrip *array* dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.17.

Tabel 3.5 Dimensi Antena Mikrostrip *Array* yang Disimulasikan

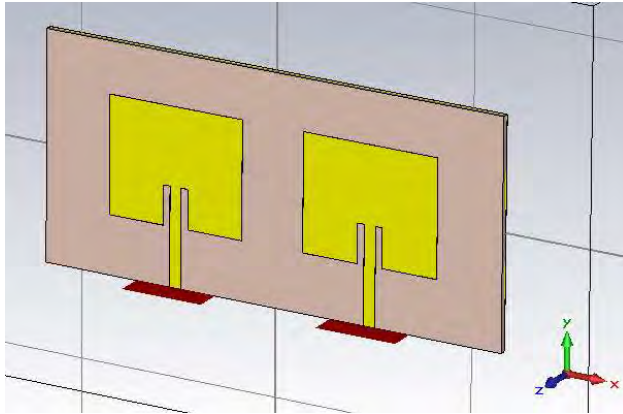
Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
Ph	0.03	<i>Patch Height</i>
Sh	1.6	<i>Substrate Height</i>
Sl	56	<i>Substrate Length</i>
Sw	116.7	<i>Substrate Width</i>
Pl	28.8	<i>Patch Length</i>
Pw	34.1	<i>Patch Width</i>
Il	9.7	<i>Inset Length</i>
Iw	1.7	<i>Inset Width</i>
Fl	14.5	<i>Feed Length</i>
Fw	2.9	<i>Feed Width</i>
g	15.6	<i>Gap Patch</i>



Gambar 3.17 Dimensi Antena Mikrostrip *Array* yang Disimulasikan

Tampilan antenna mikrostrip *array* secara perpektif yang telah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 3.18. Pada simulasi antenna *array* kali ini tidak menggunakan satu pencatuan, karena ingin dilihat pengaruh dari antenna satu ke antenna lainnya. Maka dirancanglah antenna tersebut untuk memiliki dua *port*, sehingga S-Parameter akan menampilkan *return loss* dan *mutual coupling* dari antenna tersebut. Parameter-parameter yang akan disimulasikan akan dijadikan referensi awal untuk perancangan

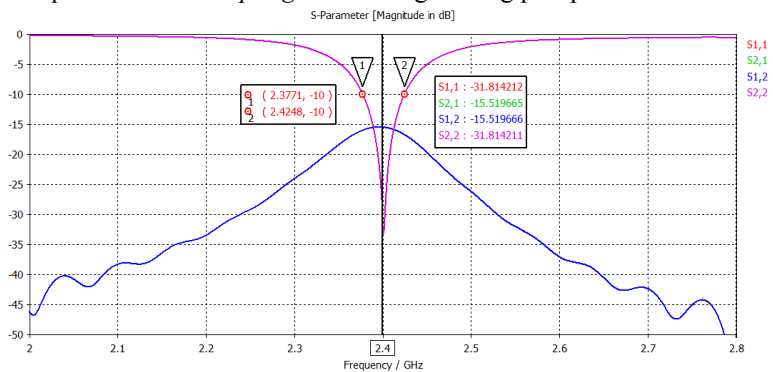
metamaterial absorber yang akan diposisikan pada antenna mikrostrip array.



Gambar 3.18 Tampilan Antena Mikrostrip Array secara Perspektif

3.5.2 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip Array

Setelah melakukan perancangan dari antenna mikrostrip array, yang dilakukan berikutnya adalah mensimulasikan antenna tersebut pada *CST Microwave Studio 2012*. Karena merupakan antenna yang memiliki dua port, dan juga masing-masing port tersebut dicatu. Sehingga pada S-Parameter akan tampil 4 garis, yaitu: S11, dan S22 yang merupakan *return loss* dari masing-masing port pencatuan, lalu S21 dan S12 yang merupakan *mutual coupling* dari masing-masing port pencatuan.

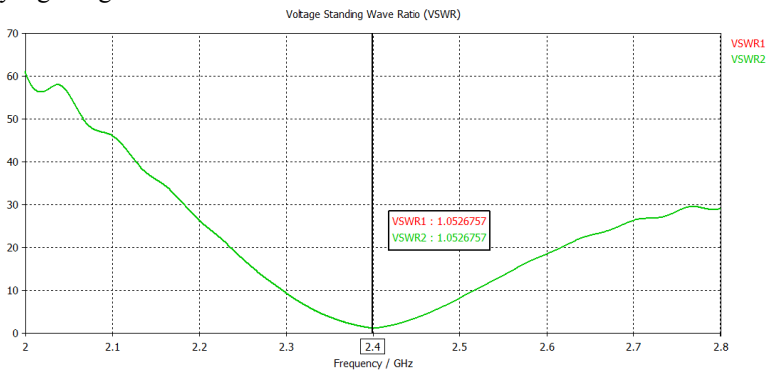


Gambar 3.19 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip Array

Pada Gambar 3.19 merupakan hasil S-Parameter dari antenna mikrostrip *array*. Karena posisi dari masing-masing antenna simetris, maka nilai dari S11 dan S22 adalah *return loss* serta S21 dan S12 adalah *mutual coupling* dari masing-masing *port* pencatutan. Nilai dari S11 dan S22 adalah -31.81 dB, serta nilai dari S21 dan S12 adalah -15.52 dB. Untuk menentukan *bandwidth* dari antenna mikrostrip, dapat dihitung dari nilai *return loss* dibawah -10 dB. Sehingga, *bandwidth* dari antenna mikrostrip *array* yang disimulasi adalah 47.7 MHz.

3.5.3 Hasil VSWR Antena Mikrostrip Array

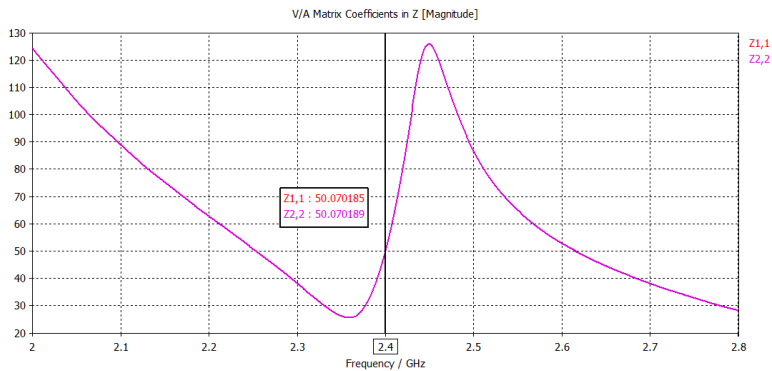
Pada Gambar 3.20 merupakan hasil VSWR dari antenna mikrostrip *array*. Nilai dari hasil VSWR yang ditampilkan merupakan hasil masing-masing *port* pencatutan. Sehingga karena identik atau simetris, maka nilai dari VSWR yang disimulasikan juga sama satu dan lainnya. Nilai VSWR dari antenna mikrostrip *array* yang disimulasikan adalah 1.05. Karena nilai $VSWR < 2$, maka antenna mikrostrip *array* sudah masuk dalam kategori yang diinginkan.



Gambar 3.20 Hasil VSWR Antena Mikrostrip Array

3.5.4 Hasil Impedansi Input Antena Mikrostrip Array

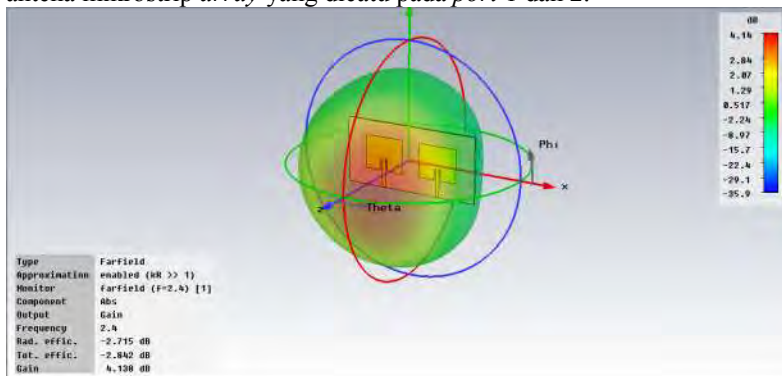
Gambar 3.21 menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *array* yang disimulasikan memiliki impedansi *input* 50.07 Ω dalam magnitudo linear. Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah 50 Ω , sehingga sudah mendekati dengan impedansi *input* yang diinginkan



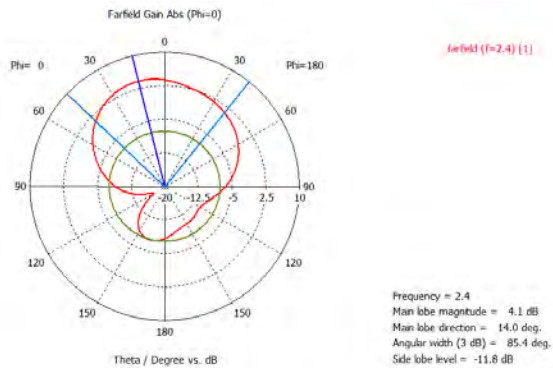
Gambar 3.21 Hasil Impedansi *Input* Antena Mikrostrip *Array*

3.5.5 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array*

Pada Gambar 3.22 dan Gambar 3.23 merupakan plot 3D dan plot polar dari pola radiasi antena mikrostrip *array* yang dicatu pada *port* 1. Pada Gambar 3.24 dan Gambar 3.25 merupakan plot 3D pola radiasi antena mikrostrip *array* yang dicatu pada *port* 1 dan 2.

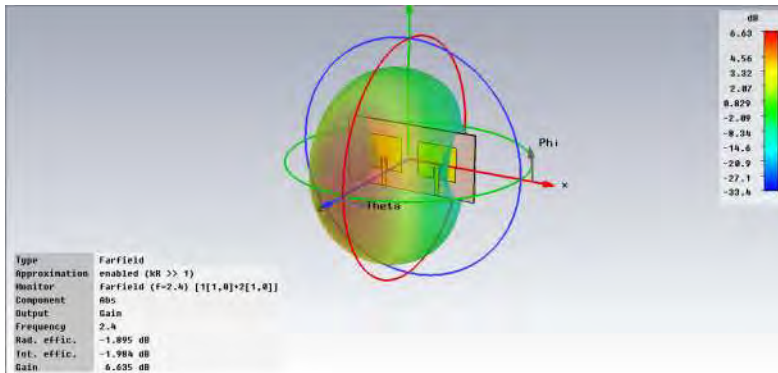


Gambar 3.22 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada *Port* 1

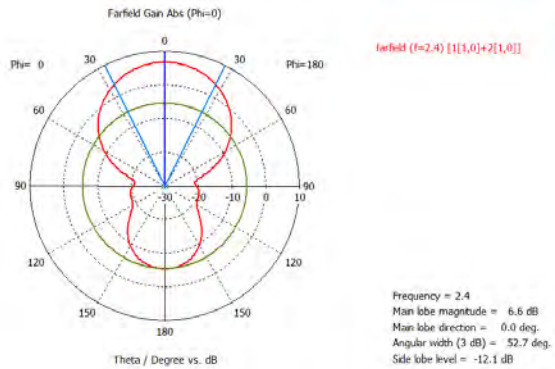


Gambar 3.23 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada *Port 1*

Pada hasil plot 3D, *gain* yang disimulasikan pada antena mikrostrip *array* yang dicatu satu *port* sebesar 4.1 dB, dan *gain* yang disimulasikan pada antena mikrostrip *array* yang dicatu kedua *port* sebesar 6.6 dB. Pada plot polar dari antena mikrostrip *array* yang dicatu satu *port*, memiliki *Side Lobe Level* sebesar -11.8 dB dan HPBWnya adalah 85.4°. Untuk plot polar dari antena mikrostrip *array* yang dicatu kedua *port*, memiliki *Side Lobe Level* sebesar -12.1 dB dan HPBWnya adalah 52.7°.



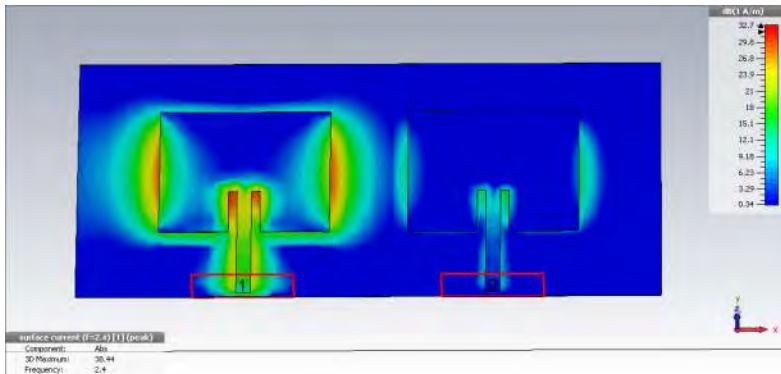
Gambar 3.24 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua *Port*



Gambar 3.25 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua *Port*

3.5.6 Hasil *Surface Current* Antena Mikrostrip *Array*

Gambar 3.26 merupakan hasil *surface current* simulasi antena mikrostrip *array* yang menunjukkan distribusi arus yang dicatu pada *port* 1. Dapat terlihat *mutual coupling* yang ditunjukkan pada kedua gambar tersebut jika antena mikrostrip *array* belum ditambahkan dengan *metamaterial absorber*.



Gambar 3.26 Hasil *Surface Current* Antena Mikrostrip *Array* yang Dicatu pada *Port* 1

3.6 Perancangan dan Hasil Simulasi *Metamaterial Absorber* pada Antena Mikrostrip Array

Perancangan *metamaterial absorber* pada antena mikrostrip array dimulai setelah ditentukan dimensi dari antena mikrostrip array. Kemudian parameter yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

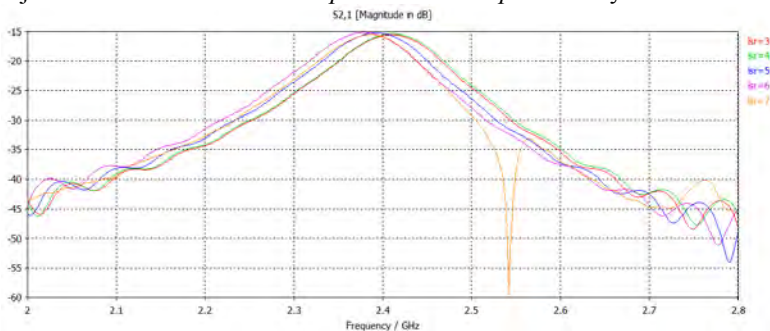
Tabel 3.6 Parameter Antena Mikrostrip Array dengan *Metamaterial Absorber*

Parameter	Nilai yang Diinginkan
<i>Return Loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
<i>Input Impedance</i>	$\pm 50\Omega$
<i>Isolation</i>	< -5 dB

3.6.1 Analisis *Parameter Sweep* Antena Mikrostrip Array dengan *Metamaterial Absorber*

Penentuan dimensi *metamaterial absorber* yang diposisikan pada antena mikrostrip array adalah dengan *parameter sweep* yang mengubah panjang, lebar, ketebalan dan *gap* dari *metamaterial absorber*.

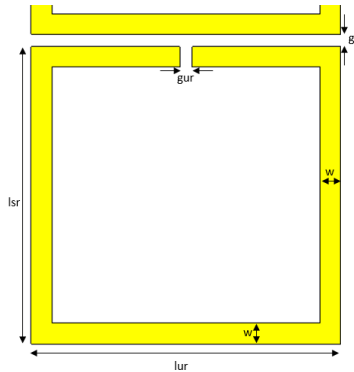
Pada Gambar 3.27 ditunjukkan hasil *parameter sweep* *lsr* saat *lur* = *lsr*, sehingga bentuk dari metamaterial berbentuk persegi. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa terdapat penurunan S21 ketika *lsr* = 7, dan *lur* = 7. Maka dimensi dari *lsr* dan *lur* itulah yang dijadikan referensi awal untuk *parameter sweep* berikutnya.



Gambar 3.27 *Parameter Sweep lsr* Saat *lur* = *lsr*

Tabel 3.7 Dimensi Awal *Metamaterial Absorber*

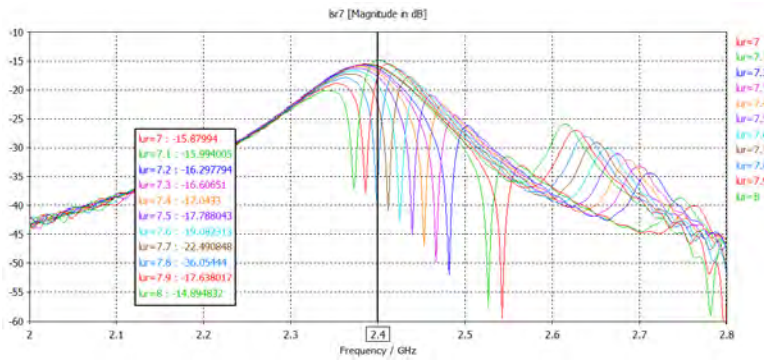
Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
gr	0.3	<i>gap ring</i>
lur	7	<i>length of upper ring</i>
lsr	7	<i>length of side ring</i>
gur	0.3	<i>gap of upper ring</i>
w	0.5	<i>width</i>

**Gambar 3.28** Dimensi Awal *Metamaterial Absorber*

Setelah melakukan desain awal *metamaterial absorber*nya, lalu selanjutnya dilakukan *parameter sweep* terhadap parameter dimensi antenna untuk mengetahui pengaruh perubahan masing-masing parameter terhadap frekuensi dan nilai *mutual coupling*. *Parameter sweep* dilakukan pada beberapa parameter yang berpengaruh terhadap dimensi dari *metamaterial absorber*, seperti panjang sisi atas *ring*, panjang sisi samping *ring*, dan lebar *ring*.

3.6.1.1 *Parameter Sweep lur Saat lsr = 7*

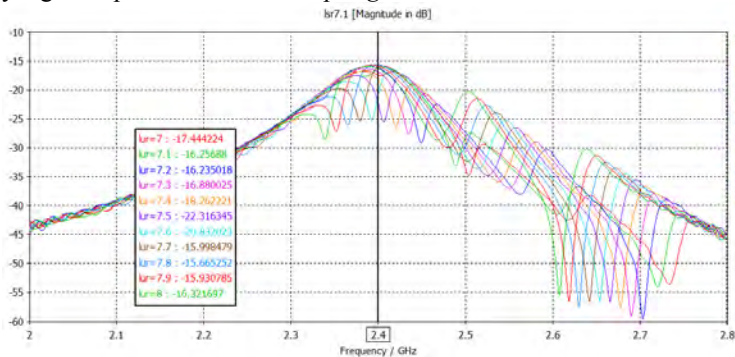
Pada Gambar 3.29 ditunjukkan hasil *parameter sweep mutual coupling* (S21) untuk *lur* saat $lsr = 7$. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *lur*, frekuensi semakin berkurang. Karena ingin terjadi pengurangan *mutual coupling* (isolasi) pada frekuensi 2.4 GHz. Maka pada gambar di atas, terdapat nilai *lur* yang memiliki penurunan *mutual coupling* yaitu pada $lur = 7.7$ dan 7.8 sebesar 6.97 dB dan 20.53 dB jika dibandingkan dengan referensi pada Gambar 3.19 yang terdapat nilai *mutual coupling* sebesar -15.52 dB.



Gambar 3.29 Parameter Sweep lur saat $l_{sr} = 7$

3.6.1.2 Parameter Sweep lur Saat $l_{sr} = 7.1$

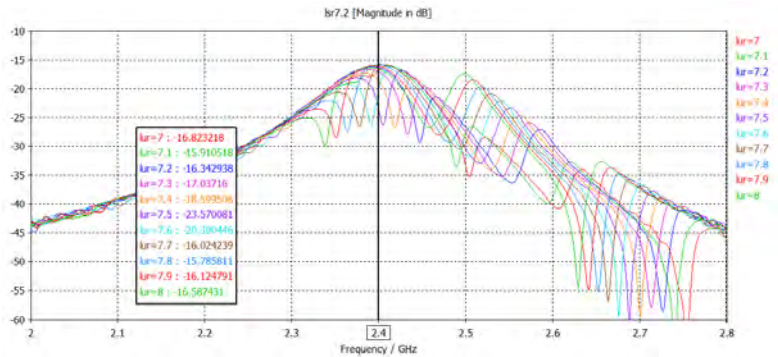
Pada Gambar 3.30 ditunjukkan hasil *parameter sweep mutual coupling* (S_{21}) untuk lur saat $l_{sr} = 7.1$. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai lur, frekuensi semakin berkurang. Karena ingin terjadi pengurangan *mutual coupling* (isolasi) pada frekuensi 2.4 GHz. Maka pada gambar di atas, terdapat nilai lur yang memiliki penurunan *mutual coupling* yaitu pada lur = 7.5 dan 7.6 sebesar 6.8 dB dan 5.31 dB jika dibandingkan dengan referensi pada Gambar 3.19 yang terdapat nilai *mutual coupling* sebesar -15.52 dB.



Gambar 3.30 Parameter Sweep lur saat $l_{sr} = 7.1$

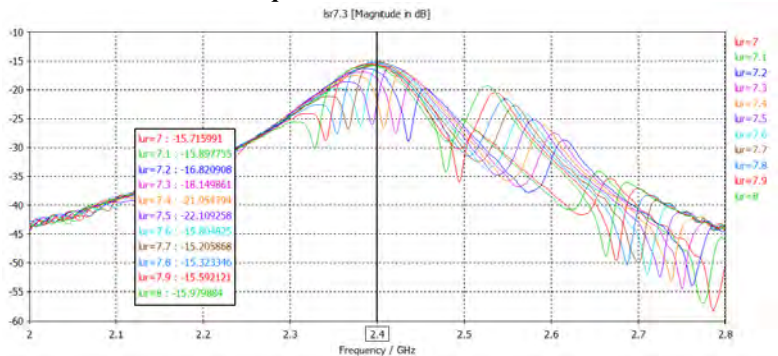
3.6.1.3 Parameter Sweep l_{ur} Saat $l_{sr} = 7.2$

Pada Gambar 3.31 ditunjukkan hasil *parameter sweep mutual coupling* (S21) untuk l_{ur} saat $l_{sr} = 7.2$. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai l_{ur} , frekuensi semakin berkurang. Karena ingin terjadi pengurangan *mutual coupling* (isolasi) pada frekuensi 2.4 GHz. Maka pada gambar di atas, terdapat nilai l_{ur} yang memiliki penurunan *mutual coupling* yaitu pada $l_{ur} = 7.5$ dan 7.6 sebesar 8.05 dB dan 4.78 dB jika dibandingkan dengan referensi pada Gambar 3.19 yang terdapat nilai *mutual coupling* sebesar -15.52 dB.



Gambar 3.31 Parameter Sweep l_{ur} saat $l_{sr} = 7.2$

3.6.1.4 Parameter Sweep l_{ur} Saat $l_{sr} = 7.3$

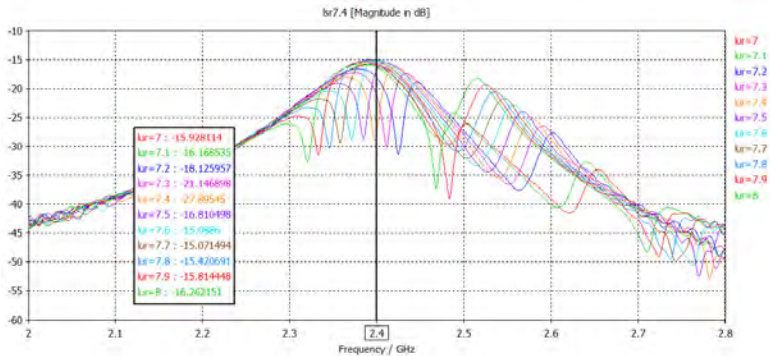


Gambar 3.32 Parameter Sweep l_{ur} saat $l_{sr} = 7.3$

Pada Gambar 3.32 ditunjukkan hasil *parameter sweep mutual coupling* (S21) untuk l_{ur} saat $l_{sr} = 7.3$. Dari gambar tersebut dapat

diketahui bahwa semakin besar nilai *lur*, frekuensi semakin berkurang. Karena ingin terjadi pengurangan *mutual coupling* (isolasi) pada frekuensi 2.4 GHz. Maka pada gambar di atas, terdapat nilai *lur* yang memiliki penurunan *mutual coupling* yaitu pada *lur* = 7.4 dan 7.5 sebesar 6.43 dB dan 6.59 dB jika dibandingkan dengan referensi pada Gambar 3.19 yang terdapat nilai *mutual coupling* sebesar -15.52 dB.

3.6.1.5 Parameter Sweep *lur* Saat *lsr* = 7.4

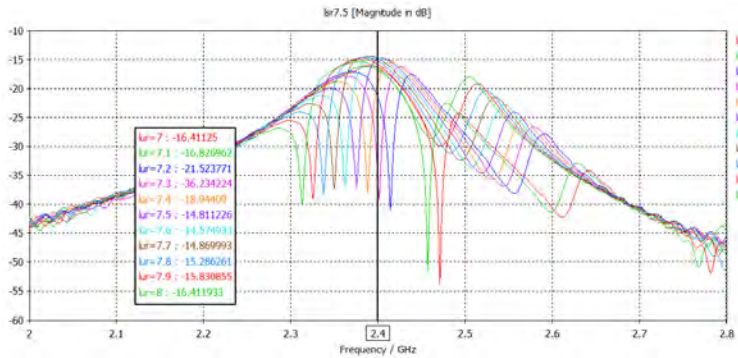


Gambar 3.33 Parameter Sweep *lur* saat *lsr* = 7.4

Pada Gambar 3.33 ditunjukkan hasil *parameter sweep mutual coupling* (S21) untuk *lur* saat *lsr* = 7.4. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *lur*, frekuensi semakin berkurang. Karena ingin terjadi pengurangan *mutual coupling* (isolasi) pada frekuensi 2.4 GHz. Maka pada gambar di atas, terdapat nilai *lur* yang memiliki penurunan *mutual coupling* yaitu pada *lur* = 7.4 sebesar 8.05 dB jika dibandingkan dengan referensi pada Gambar 3.19 yang terdapat nilai *mutual coupling* sebesar -15.52 dB.

3.6.1.6 Parameter Sweep *lur* Saat *lsr* = 7.5

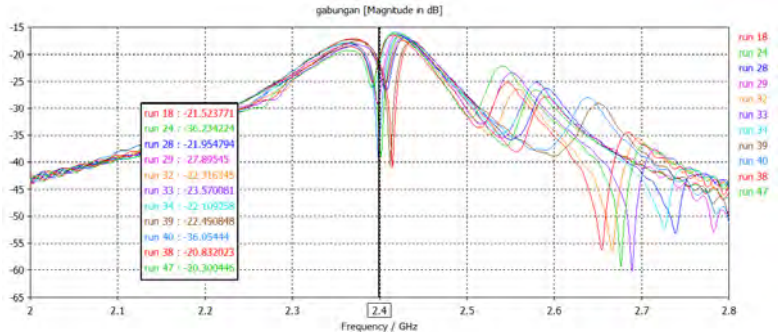
Pada Gambar 3.34 ditunjukkan hasil *parameter sweep mutual coupling* (S21) untuk *lur* saat *lsr* = 7.5. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *lur*, frekuensi semakin berkurang. Karena ingin terjadi pengurangan *mutual coupling* (isolasi) pada frekuensi 2.4 GHz. Maka pada gambar di atas, terdapat nilai *lur* yang memiliki penurunan *mutual coupling* yaitu pada *lur* = 7.2 dan 7.3 sebesar 6 dB dan 20.71 dB jika dibandingkan dengan referensi pada Gambar 3.19 yang terdapat nilai *mutual coupling* sebesar -15.52 dB.



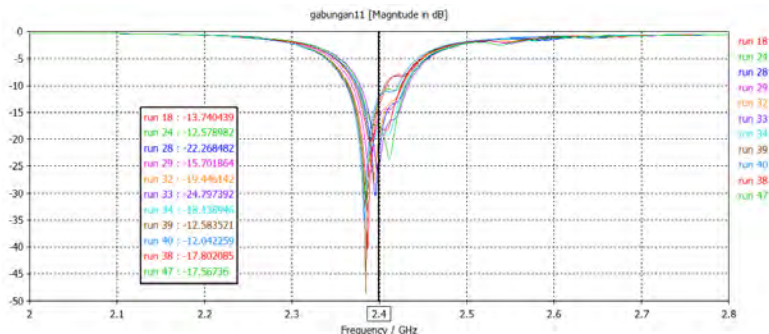
Gambar 3.34 Parameter Sweep S_{11} saat $f_{sr} = 7.5$

3.6.1.7 Perbandingan Dimensi Metamaterial Absorber

Setelah melakukan *parameter sweep* pada dimensi metamaterial absorber, kemudian dibandingkan yang ditampilkan pada Gambar 3.35 dan Gambar 3.36. Kriteria yang diinginkan adalah untuk memiliki pengurangan *mutual coupling* (isolasi) sebesar < 5 dB dan memiliki frekuensi kerja yang tidak terlalu jauh bergeser dari 2.4 GHz.



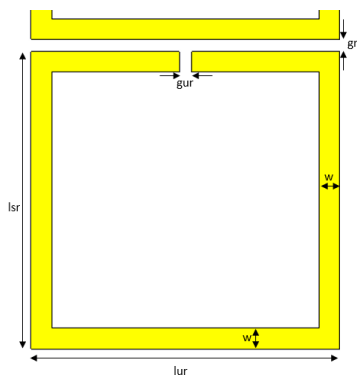
Gambar 3.35 Perbandingan *Mutual Coupling* dari *Parameter Sweep* Dimensi Metamaterial Absorber



Gambar 3.36 Perbandingan *Return Loss* dari *Parameter sweep* Dimensi *Metamaterial Absorber*

3.6.2 Dimensi *Metamaterial Absorber*

Berdasarkan dari hasil simulasi, dipilihlah Didapatkanlah dimensi *metamaterial absorber* yang telah dioptimasi dan ditunjukkan pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.37.

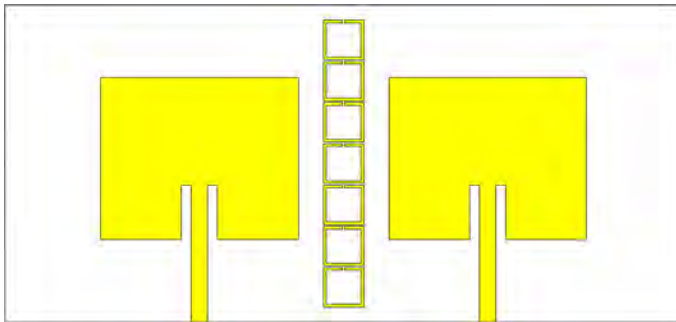


Gambar 3.37 Dimensi *Metamaterial Absorber* yang Disimulasikan dengan Antena Mikrostrip Array

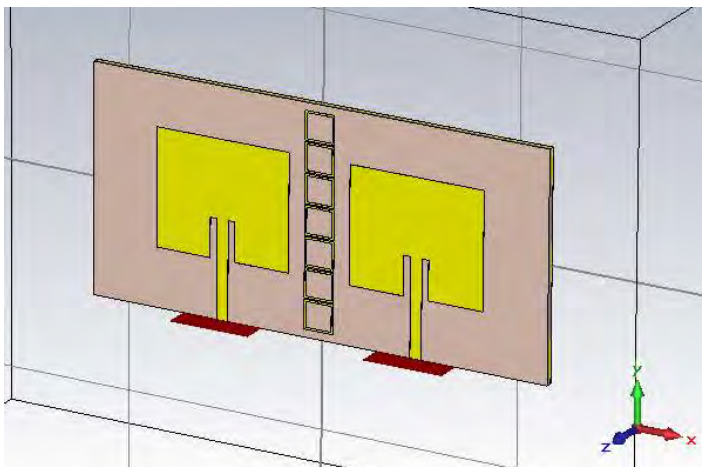
Untuk mendapatkan S-parameter yang identik, maka diposisikan *metamaterial absorber* di tengah *gap* antar *patch* yang dapat dilihat pada Gambar 3.38.

Tabel 3.8 Dimensi *Metamaterial Absorber*

Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
gr	0.3	<i>gap ring</i>
lur	7.5	<i>length of upper ring</i>
lsr	7.2	<i>length of side ring</i>
gur	0.3	<i>gap of upper ring</i>
w	0.5	<i>width</i>



Gambar 3.38 Dimensi Antena Mikrostrip Array dengan *Metamaterial Absorber* yang Disimulasikan

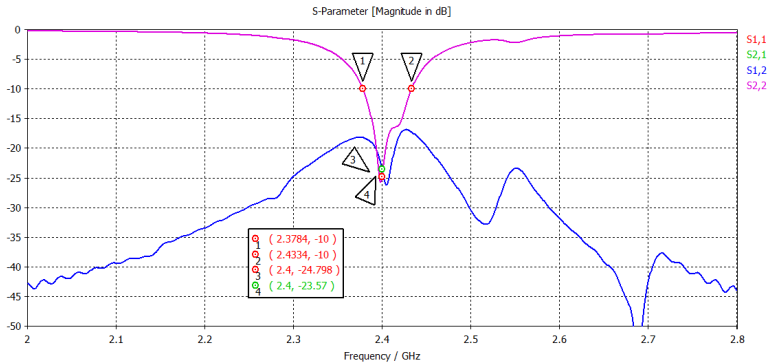


Gambar 3.39 Tampilan Antena Mikrostrip Array secara Perspektif

Tampilan antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* secara perspektif yang telah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 3.39. Simulasi yang dilakukan sama dengan simulasi antenna mikrostrip *array* yang tidak menggunakan satu pencatuan, karena ingin melihat pengaruh dari *metamaterial absorber* yang dapat mengurangi *mutual coupling*.

3.6.3 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

Setelah mengetahui dimensi dari *metamaterial absorber* yang diposisikan pada antenna mikrostrip *array* dengan *parameter sweep*, kemudian dilakukan simulasi antenna tersebut.

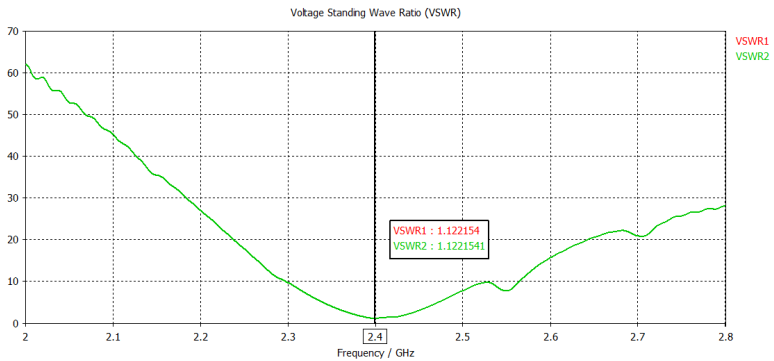


Gambar 3.40 Hasil S-Parameter Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

Pada Gambar 3.40 merupakan hasil S-Parameter dari antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*. Karena posisi dari masing-masing antenna simetris, maka nilai dari S_{11} dan S_{22} adalah *return loss* serta S_{21} dan S_{12} adalah *mutual coupling* dari masing-masing *port* pencatuan. Nilai dari S_{11} dan S_{22} adalah -24.8 dB, serta nilai dari S_{21} dan S_{12} adalah -23.57 dB. Untuk menentukan *bandwidth*, dapat dihitung dari nilai *return loss* dibawah -10 dB. Sehingga, *bandwidth* dari antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* adalah 55 MHz.

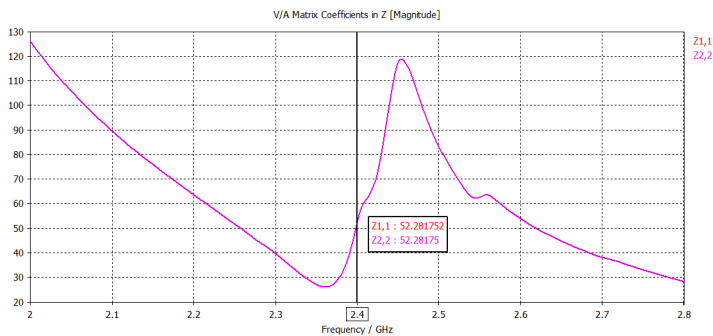
3.6.4 Hasil VSWR Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

Pada Gambar 3.41 merupakan hasil VSWR dari antena mikrostrip array dengan metamaterial absorber. Nilai dari hasil VSWR yang ditampilkan merupakan hasil masing-masing port pencatutan. Sehingga karena identik atau simetris, maka nilai dari VSWR yang disimulasikan juga sama satu dan lainnya. Nilai VSWR yang disimulasikan adalah 1.12. Karena nilai $VSWR < 2$, maka antena mikrostrip array dengan metamaterial absorber sudah masuk dalam kategori yang diinginkan.



Gambar 3.41 Hasil VSWR Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

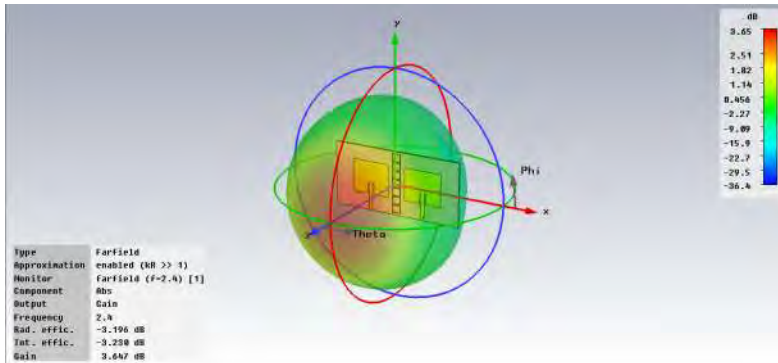
3.6.5 Hasil Impedansi Input Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber



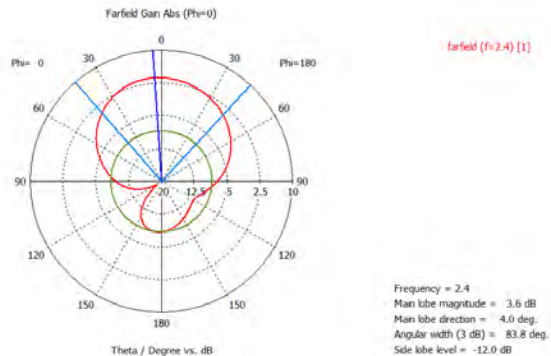
Gambar 3.42 Hasil Impedansi Input Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

Pada Gambar 3.42 menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* memiliki impedansi *input* 52.28 Ω dalam magnitudo linear. Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah 50 Ω , sehingga sudah mendekati dengan impedansi *input* yang diinginkan.

3.6.6 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber*



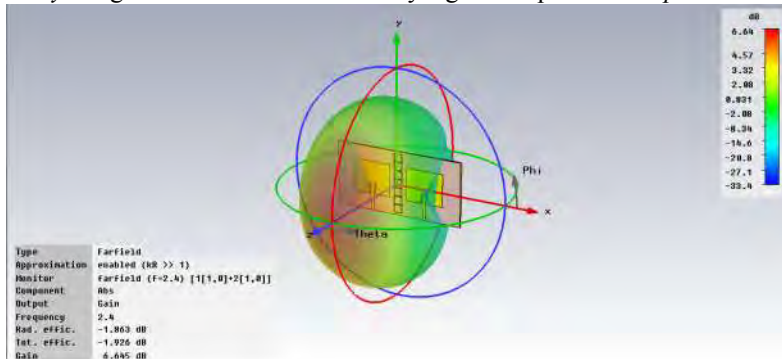
Gambar 3.43 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Port 1



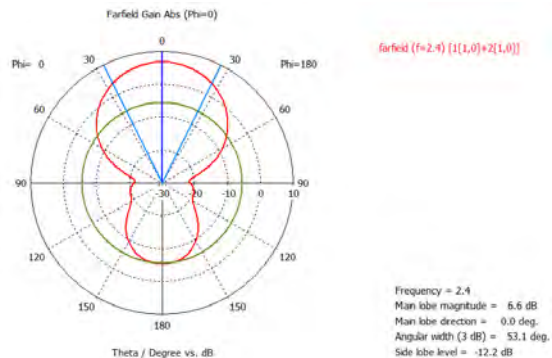
Gambar 3.44 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Port 1

Pada Gambar 3.43 dan Gambar 3.44 merupakan plot 3D dan plot polar dari pola radiasi antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial*

absorber yang dicatu pada *port* 1. Pada Gambar 3.45 dan Gambar 3.46 merupakan plot 3D dan plot polar dari pola radiasi antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* yang dicatu pada kedua *port*.



Gambar 3.45 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua *Port*

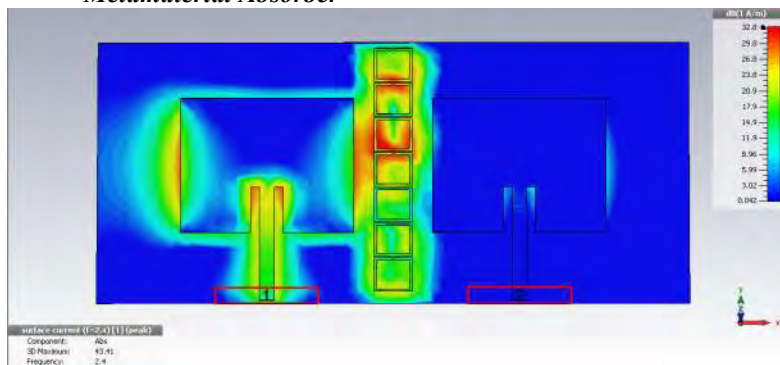


Gambar 3.46 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber* pada 2.4 GHz yang Dicatu pada Kedua *Port*

Pada hasil plot 3D, *gain* yang disimulasikan pada antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* yang dicatu satu *port* sebesar 3.6 dB, dan *gain* yang disimulasikan pada antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* yang dicatu kedua *port* sebesar 6.6 dB. Pada plot polar dari antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* yang dicatu satu *port*, memiliki *Side Lobe Level* sebesar -12 dB dan HPWBnya adalah 83.8°. Untuk plot polar dari antenna mikrostrip

array dengan *metamaterial absorber* yang dicatu kedua *port*, memiliki *Side Lobe Level* sebesar -12.2 dB dan HPBWnya adalah 53.1° .

3.6.7 Hasil *Surface Current* Antena Mikrostrip Array dengan *Metamaterial Absorber*



Gambar 3.47 Hasil *Surface Current* Antena Mikrostrip Array dengan *Metamaterial Absorber* yang Dicatu pada *Port 1*

Gambar 3.47 merupakan hasil *surface current* simulasi antena mikrostrip array yang menunjukkan distribusi arus yang dicatu pada *port 1*. Dapat terlihat pengurangan *mutual coupling* yang ditunjukkan pada kedua gambar tersebut dengan adanya penambahan *metamaterial absorber* diantara *patch* antena.

3.7 Prosedur Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, dan Impedansi

Pengukuran parameter antena diperlukan untuk mengetahui kinerja dari antena yang telah difabrikasi apakah berbeda dengan simulasi atau sama. Data hasil pengukuran juga dapat dibandingkan dan dianalisis dengan data hasil simulasi.

Network Analyzer sudah dapat mengkalibrasi otomatis saat *booting*, sehingga dapat langsung dipakai untuk pengukuran setelah dinyalakan. Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan antara lain *Network Analyzer*, N to SMA kabel, Pensil, Penggaris, Flash Disk dan 3 Antena.
2. Ubah frekuensi yang dibangkitkan oleh *Network Analyzer* pada tombol *Freq/Dist*, dan ubah sesuai yang diinginkan.

3. Sambungkan konektor SMA pada antenna ke port pada *Network Analyzer*, gunakan kabel untuk memudahkan pengukuran dan mengurangi efek gelombang pantul yang muncul apabila antenna langsung dihubungkan ke *Network Analyzer*
4. Tekan tombol *measure* untuk melakukan pengukuran.
5. Pilih mode pengukuran, pengukuran apa yang ingin dilakukan, logmag untuk mengukur *return loss* dalam satuan desibel, VSWR untuk pengukuran VSWR, dan *smith* untuk pengukuran impedansi *input* dari antenna.
6. Setelah data hasil pengukuran muncul maka selanjutnya tekan tombol *hold* untuk menghentikan proses pengukuran dan merekam data.
7. Pasang *marker* pada titik-titik tertentu seperti batas bawah, dan batas atas frekuensi.
8. Simpan data hasil pengukuran dengan menekan tombol *save*. Atur tempat penyimpanan dan tipe *file* yang akan disimpan. Terdapat beberapa tipe *file* seperti *.png* yang berupa gambar grafik hasil pengukuran, atau *.csv* yang berupa tabel hasil pengukuran.
9. Untuk *bandwidth* didapatkan dengan cara mencari selisih batas atas dan batas bawah frekuensi yang nilainya lebih kecil dari -10 dB pada pengukuran *return loss*.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

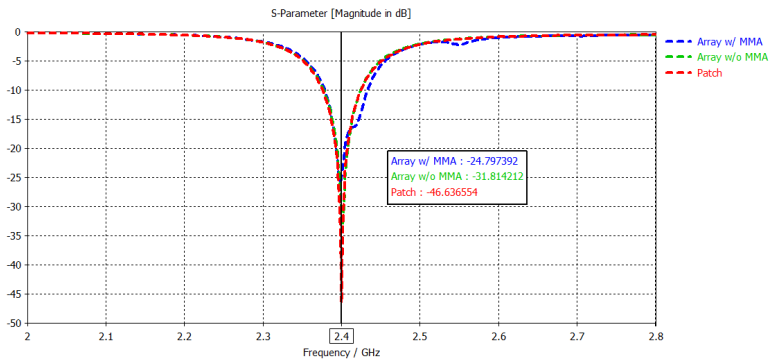
Pada bab ini akan dibahas mengenai realisasi dan pengukuran kinerja antenna mikrostrip *array* yang telah dirancang pada Bab III. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui kinerja antenna yang sebenarnya. Parameter yang diukur yaitu *return loss*, *mutual coupling*, dan VSWR. Data hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis perbedaan kinerja antenna hasil pengukuran dengan hasil simulasi sebelumnya.

4.1 Analisis Perbandingan Simulasi

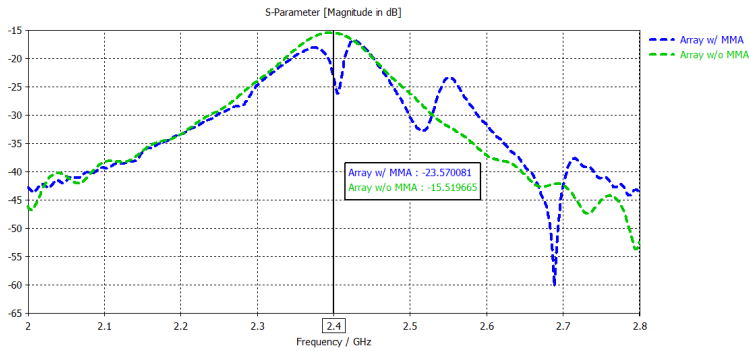
Setelah mengetahui dimensi setiap antenna, dilakukan perbandingan hasil simulasi untuk parameter-parameter antenna untuk dapat diamati perubahan-perubahan dari setiap parameter tersebut.

4.1.1 Perbandingan S-Parameter

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat grafik S11-Parameter dari masing-masing antenna yang menunjukkan frekuensi kerja dari antenna. Dengan ditarik garis pada frekuensi 2.4 GHz, antenna mikrostrip *patch* memiliki nilai S11 sebesar -46.64 dB, antenna mikrostrip *array* sebesar -31.81 dB, dan antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* sebesar -24.8 dB. Dapat dilihat bahwa S11 yang paling baik adalah antenna mikrostrip *patch*, karena memiliki nilai S11 yang paling kecil. Dengan memiliki



Gambar 4.1 Perbandingan Nilai S11-Parameter Masing-Masing Antena



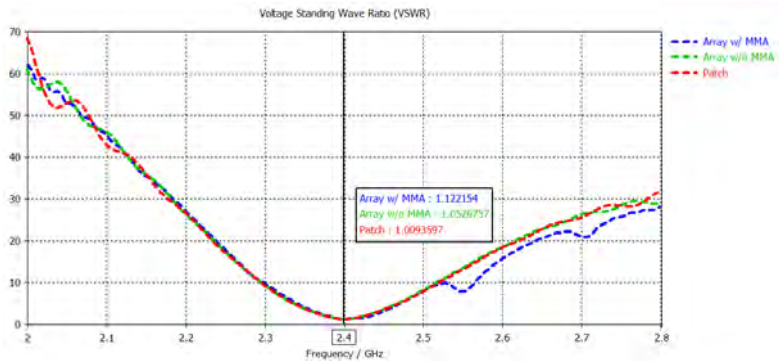
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai S21-Parameter Antena Array dengan dan Tanpa *Metamaterial Absorber*

jarak seperdelapan panjang gelombang, antena mikrostrip *array* tetap memiliki nilai S11 yang baik, walaupun tidak sebaik antena mikrostrip *patch*. Pada antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*, S11 semakin meningkat tapi masih < -10 dB, sehingga masih dapat ditoleransi.

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat grafik S21-Parameter atau *mutual coupling* yang menunjukkan besar daya yang diterima pada antena disebelahnya. Dengan ditarik garis pada frekuensi 2.4 GHz, antena mikrostrip *array* memiliki nilai S21 sebesar -15.52 dB, dan antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* sebesar -23.57 dB. Dengan adanya tambahan *metamaterial absorber* pada simulasi, terjadi isolasi sebesar 8.05 dB.

4.1.2 Perbandingan VSWR

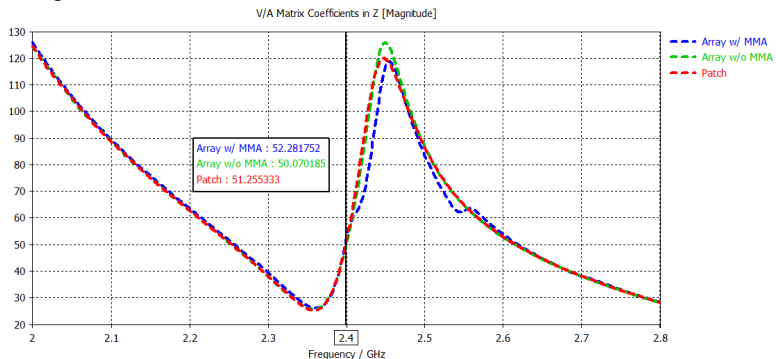
Pada Gambar 4.3 menunjukkan nilai VSWR dari setiap antena yang disimulasikan. Untuk antena mikrostrip *patch* memiliki nilai VSWR sebesar 1.01, antena mikrostrip *array* sebesar 1.05 dan antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* sebesar 1.12. Dari ketiga antena, antena mikrostrip *patch* memiliki nilai VSWR yang lebih baik, karena nilai VSWR yang paling kecil. Tapi untuk antena mikrostrip *array* tanpa dan dengan *metamaterial absorber* tetap memiliki nilai VSWR yang baik, karena masih bernilai < 2 .



Gambar 4.3 Perbandingan Nilai VSWR Masing-Masing Antena

4.1.3 Perbandingan Impedansi *Input*

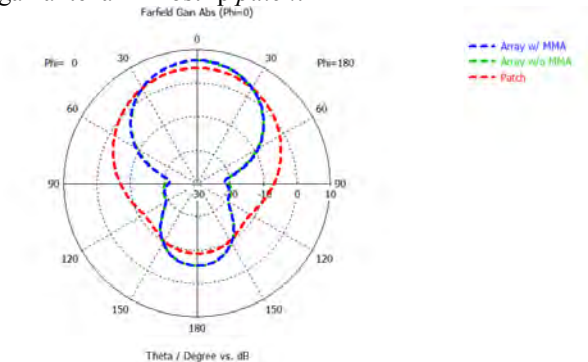
Pada Gambar 4.4 menunjukkan nilai impedansi *input* dari setiap antena yang disimulasikan. Untuk antena mikrostrip *patch* memiliki nilai impedansi sebesar 51.25Ω , antena mikrostrip *array* sebesar 50.07Ω , dan antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* sebesar 52.28Ω . Antena mikrostrip *array* memiliki nilai impedansi *input* yang paling baik, karena mendekati 50Ω . Antena mikrostrip *array* dan antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* memiliki nilai impedansi *input* yang cukup baik.



Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Impedansi *Input* Masing-Masing Antena

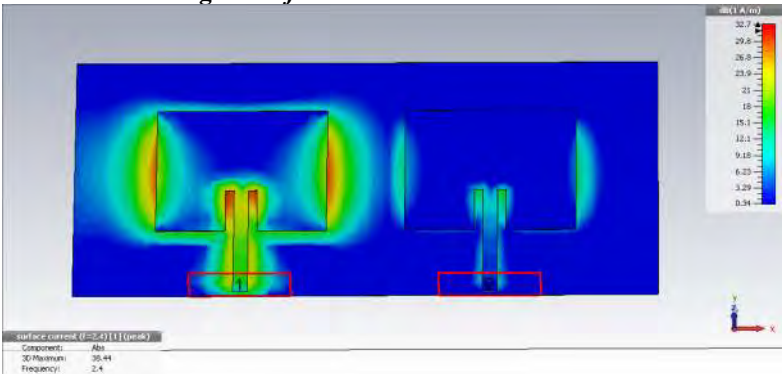
4.1.4 Perbandingan Pola Radiasi

Pada Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan plot polar pola radiasi dari setiap antenna yang disimulasikan. Untuk antenna mikrostrip *patch*, terlihat HPBW yang lebih besar dibandingkan dengan antenna mikrostrip *array*. Sehingga, antenna mikrostrip *array* dengan dan tanpa *metamaterial absorber*, memiliki direktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan antenna mikrostrip *patch*.



Gambar 4.5 Perbandingan Plot Polar Pola Radiasi Masing-Masing Antena

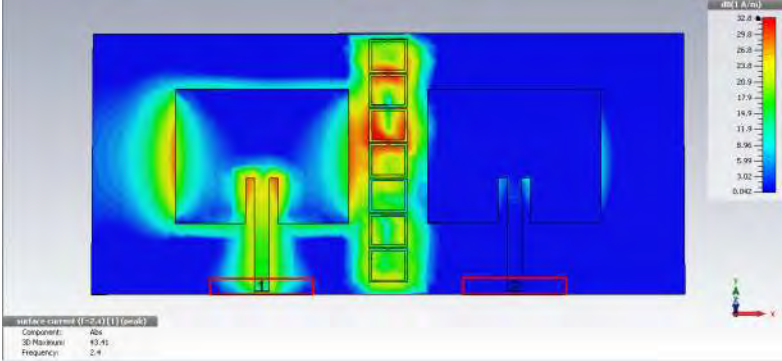
4.1.5 Perbandingan Surface Current



Gambar 4.6 Hasil Surface Current Antena Mikrostrip Array yang Dicatu pada Port 1

Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 terlihat perubahan distribusi arus yang diakibatkan dari *metamaterial absorber*. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa dalam simulasi ini, *metamaterial absorber* dapat mengurangi *mutual coupling* yang terdapat pada antenna mikrostrip *array* yang memiliki jarak seperdelapan panjang gelombang.



Gambar 4.7 Hasil *Surface Current* Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber* yang Dicatu pada *Port 1*

4.1.6 Perbandingan Parameter Masing-Masing Antena dari Simulasi

Setelah dilakukan simulasi dari masing-masing antena, kemudian dibandingkan untuk melihat kelebihan dan kekurangan masing-masing antena yang telah disimulasikan.

Tabel 4.1 Perbandingan Parameter Masing-Masing Antena dari Simulasi

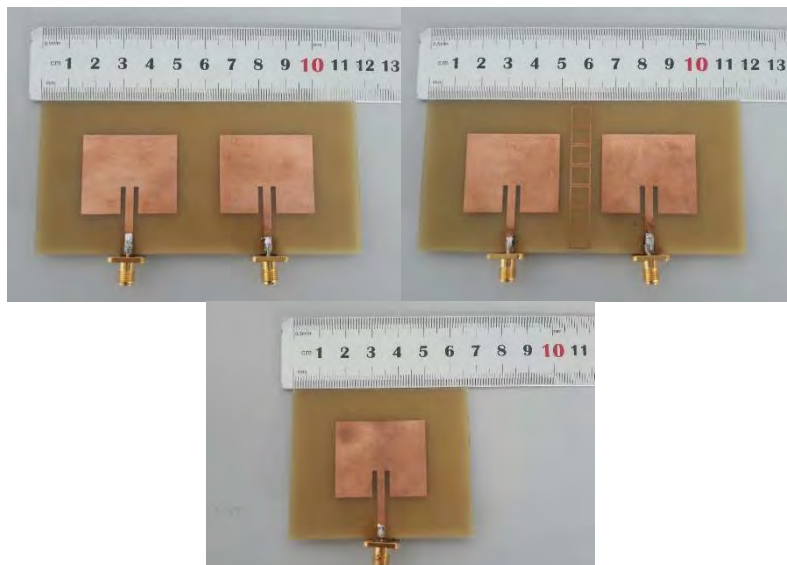
Parameter	<i>Patch</i>	<i>Array</i> Tanpa MMA	<i>Array</i> MMA
<i>Return Loss</i> (dB)	-46.64	-31.81	-24.8
<i>Mutual Coupling</i> (dB)	-	-15.52	-23.57
<i>Bandwidth</i> (MHz)	49.2	47.7	55
VSWR	1.01	1.05	1.12
Impedansi <i>Input</i> (Ω)	51.25	50.07	52.28
<i>Gain</i> (dB)	4.4	6.6	6.6
HPBW ($^{\circ}$)	83.1	52.7	53.1
<i>Side Lobe Level</i> (dB)	-13.6	-12.1	-12.2

Pada Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa *return loss* yang terbaik adalah antenna mikrostrip *patch*, karena memiliki nilai *return loss* yang paling kecil yaitu -46.64 dB. Lalu, terdapat penurunan *mutual coupling* sebesar 8.05 dB jika terdapat *metamaterial absorber* yang telah dirancang seperti

pada Gambar 3.38. Setelah adanya penambahan *metamaterial absorber* pada antenna mikrostrip *array*, terjadi penambahan *bandwidth*. VSWR dari antenna mikrostrip *patch* adalah yang terbaik karena didapatkan hasil yang paling kecil dibandingkan dengan antenna yang lain. Impedansi *input* yang dihasilkan dari simulasi antenna mikrostrip *array* adalah yang paling baik, karena mendekati $50\ \Omega$. Dengan adanya penambahan *metamaterial absorber*, tidak terjadi perubahan pada pola radiasi yang terlalu signifikan.

4.2 Hasil Fabrikasi Antena

Desain akhir antenna mikrostrip *array* direalisasikan berdasarkan desain pada simulasi akhir dimana semua parameter yang diinginkan telah sesuai. Antena mikrostrip *array* direalisasikan dengan bahan PCB FR-4 Epoxy (*Fiber Glass*) yang pada pencetakan memiliki *range* nilai konstanta dielektrik relatif sebesar 4.3-4.9. Pada ujung saluran transmisi dipasang konektor SMA *female* dengan impedansi sebesar 50 ohm. Desain antenna mikrostrip *array* hasil fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 4.8.



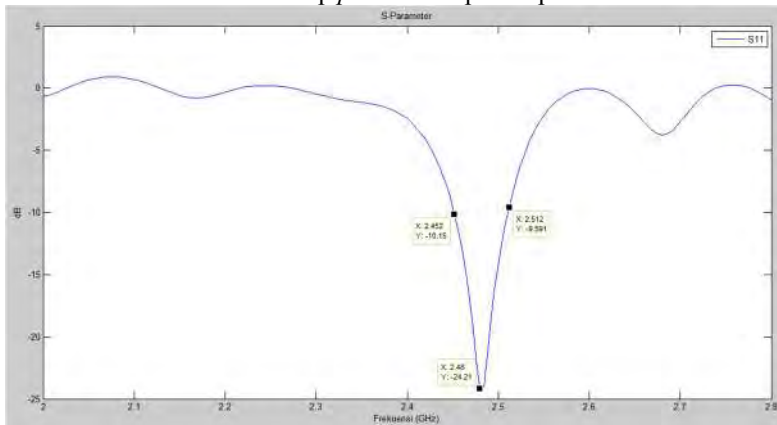
Gambar 4.8 Hasil Fabrikasi Antena

4.3 Analisis Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Patch

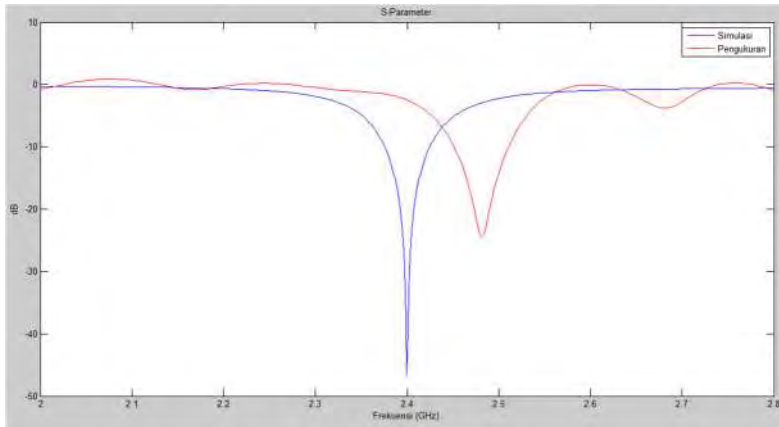
Hasil pengukuran yang akan dianalisis dari hasil pengukuran, yaitu: S-Parameter, VSWR, dan Impedansi *Input*. Pengukuran dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).

4.3.1 Analisis S-Parameter Antena Mikrostrip Patch

Hasil pengukuran S-Parameter dari antena mikrostrip *patch* adalah *return loss*, yang dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai frekuensi minimum dan maksimum pada nilai -10 dB berturut-turut adalah 2.452 GHz dan 2.512 GHz, sehingga memiliki *bandwidth* ± 60 MHz. Memiliki frekuensi tengah pada 2.48 GHz yang memiliki nilai -24.21 dB. Jika dibandingkan dengan yang disimulasikan pada Gambar 3.11, yang memiliki kecuraman *return loss* sebesar -46.64 dB, dan memiliki *bandwidth* sebesar 49.2 MHz, terlihat terdapat pergeseran frekuensi kerja dari antena mikrostrip *patch*. Membuktikan bahwa antena yang difabrikasi memiliki substrat yang berbeda dengan yang disimulasikan. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran dari S-Parameter antena mikrostrip *patch* ditampilkan pada Gambar 4.10.

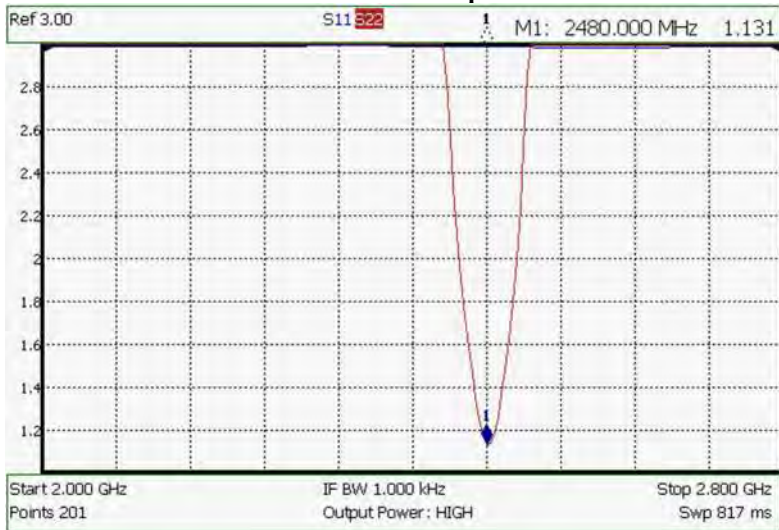


Gambar 4.9 Hasil Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Patch



Gambar 4.10 Perbandingan Simulasi dan Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip *Patch*

4.3.2 Analisis VSWR Antena Mikrostrip *Patch*



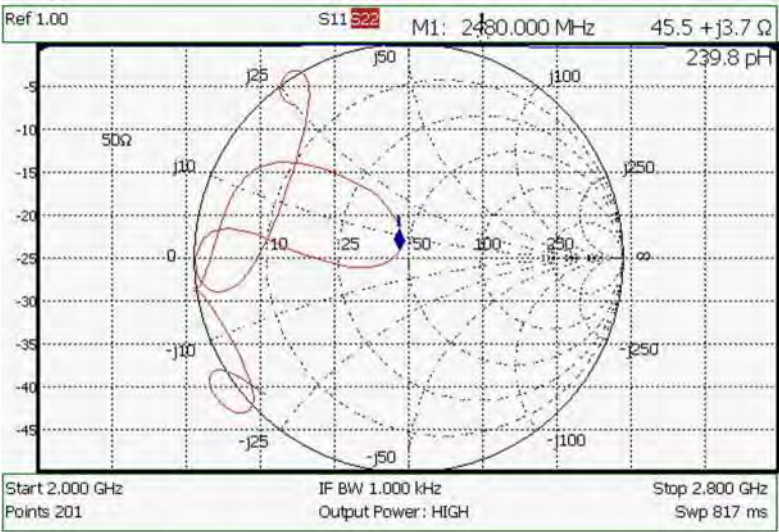
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran VSWR untuk Antena Mikrostrip *Patch*

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa hasil VSWR yang terukur dari antena mikrostrip *patch* adalah 1.13 dan jika dibandingkan dengan

hasil VSWR yang disimulasikan, yang terdapat pada Gambar 3.12, adalah 1.01. Sehingga terdapat perbedaan, namun tidak terlalu signifikan.

4.3.3 Analisis Impedansi *Input* Antena Mikrostrip Patch

Pada Gambar 4.12 merupakan hasil pengukuran impedansi *input* antena mikrostrip *patch* adalah sebesar 45.65 Ω , dan jika dibandingkan dengan hasil simulasi yang terdapat pada Gambar 3.13, adalah 51.25 Ω . Walaupun terdapat perbedaan, namun tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Impedansi *Input* untuk Antena Mikrostrip Patch

Tabel 4.2 Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip Patch

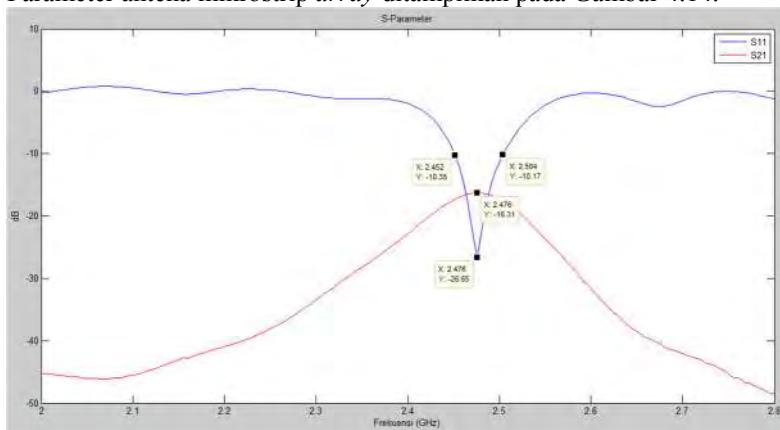
Parameter	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Kerja (GHz)	2.4	2.48
Return Loss (dB)	-46.64	-24.21
Bandwidth (MHz)	49.2	±60
VSWR	1.01	1.13
Impedansi <i>Input</i> (Ω)	51.25	45.65

4.4 Analisis Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Array

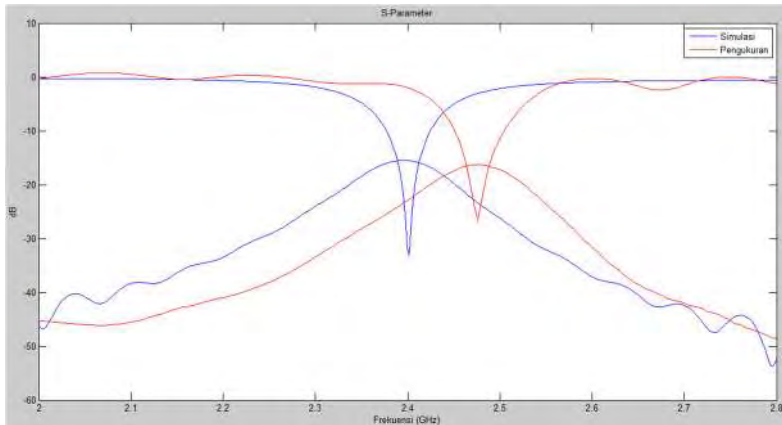
Hasil pengukuran yang akan dianalisis dari hasil pengukuran, yaitu: S-Parameter, VSWR, dan Impedansi *Input*. Pengukuran dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), seperti yang dilakukan pada pengukuran antena mikrostrip *patch*.

4.4.1 Analisis S-Parameter Antena Mikrostrip Array

Hasil pengukuran S-Parameter dari antena mikrostrip *array* adalah *return loss*, yang dapat dilihat Gambar 4.13. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai frekuensi minimum dan maksimum pada nilai -10 dB berturut adalah 2.452 dan 2.504, sehingga memiliki *bandwidth* ± 52 MHz. Memiliki frekuensi tengah pada 2.476 GHz yang memiliki nilai *return loss* -26.65 dB dan nilai *mutual coupling* -16.31 dB. Jika dibandingkan dengan yang disimulasikan pada Gambar 3.19, yang memiliki kecuraman *return loss* sebesar -31.81 dB, *mutual coupling* sebesar -15.52 dB dan *bandwidth* sebesar 47.7 MHz, terlihat terdapat pergeseran frekuensi kerja dari antena mikrostrip *array*. Membuktikan bahwa antena yang difabrikasi memiliki substrat yang berbeda dengan yang disimulasikan, tetapi pergeseran tersebut sama dengan yang antena mikrostrip *patch*. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran dari S-Parameter antena mikrostrip *array* ditampilkan pada Gambar 4.14.

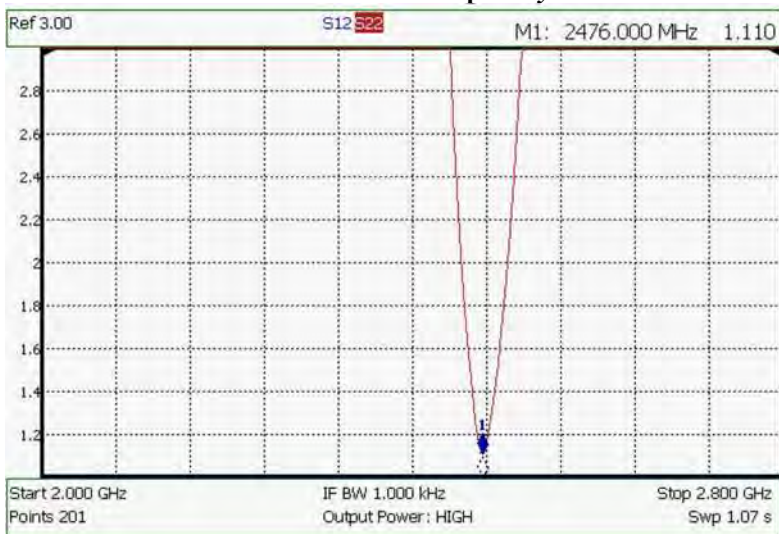


Gambar 4.13 Hasil Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Array



Gambar 4.14 Perbandingan Simulasi dan Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip *Array*

4.4.2 Analisis VSWR Antena Mikrostrip *Array*

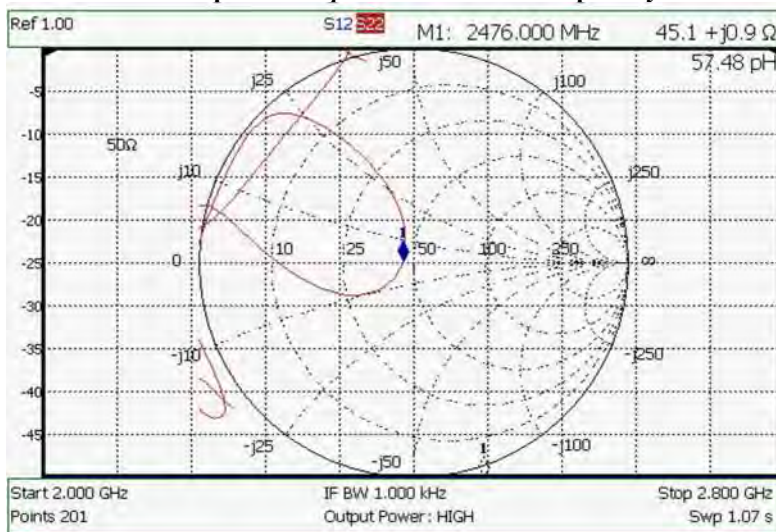


Gambar 4.15 Hasil Pengukuran VSWR untuk Antena Mikrostrip *Array*

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa hasil VSWR yang terukur dari antena mikrostrip *array* adalah 1.11 dan jika dibandingkan dengan

hasil VSWR yang disimulasikan, yang terdapat pada Gambar 3.20, adalah 1.05. Sehingga terdapat perbedaan, namun tidak terlalu signifikan.

4.4.3 Analisis Impedansi *Input* Antena Mikrostrip Array



Gambar 4.16 Hasil Pengukuran Impedansi *Input* untuk Antena Mikrostrip Array

Pada Gambar 4.16 merupakan hasil pengukuran impedansi *input* antena mikrotrip *array* 45.1 Ω , dan jika dibandingkan dengan hasil simulasi yang terdapat pada Gambar 3.21, adalah 50.07 Ω . Terdapat perbedaan yang tidak terlalu signifikan.

Tabel 4.3 Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip Array

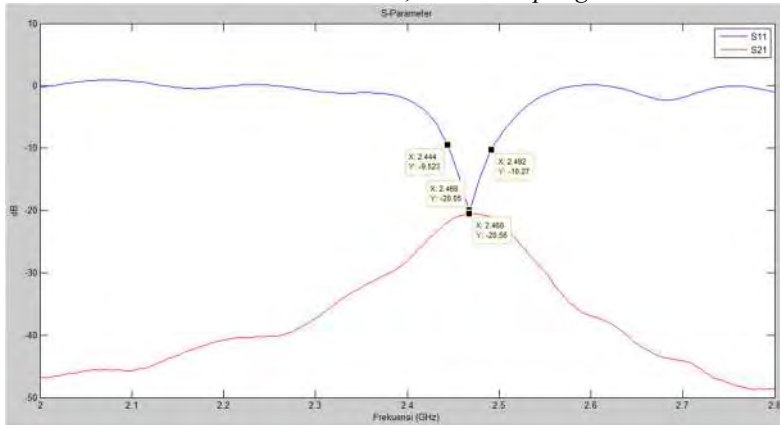
Parameter	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Kerja (GHz)	2.4	2.476
<i>Return Loss</i> (dB)	-31.81	-26.65
<i>Mutual Coupling</i> (dB)	-15.52	-16.31
<i>Bandwidth</i> (MHz)	47.7	± 52
VSWR	1.05	1.11
Impedansi <i>Input</i> (Ω)	50.07	45.1

4.5 Analisis Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

Hasil pengukuran yang akan dianalisis dari hasil pengukuran, yaitu: S-Parameter, VSWR, dan Impedansi *Input*. Pengukuran dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer*, seperti yang dilakukan pada pengukuran antena lainnya.

4.5.1 Analisis S-Parameter Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

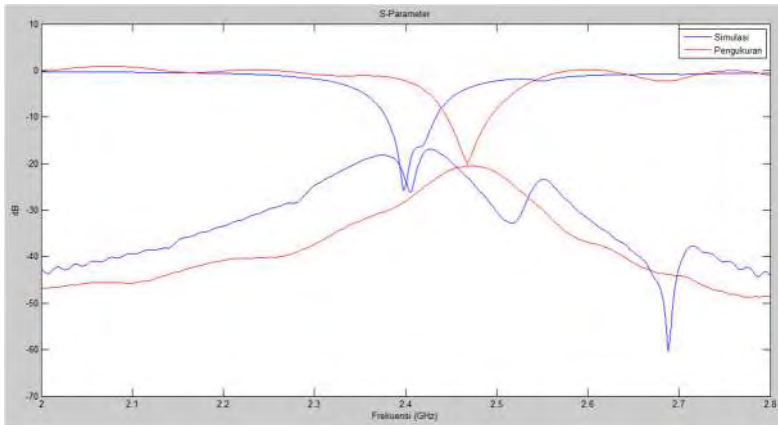
Hasil pengukuran S-Parameter dari antena mikrostrip array adalah *return loss* dan *mutual coupling*, yang dapat dilihat Gambar 4.17. Dari gambar tersebut dapat diketahui nilai frekuensi minimum dan maksimum pada nilai -10 dB berturut adalah 2.444 dan 2.492, sehingga memiliki bandwidth ± 48 MHz. Memiliki frekuensi tengah pada 2.468 GHz yang memiliki nilai *return loss* -20.05 dB dan nilai *mutual coupling* -20.56 dB. Jika dibandingkan dengan yang disimulasikan Gambar 3.40, yang memiliki *return loss* sebesar -24.8 dB, *mutual coupling* sebesar -23.57 dB



Gambar 4.17 Hasil Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip Array dengan Metamaterial Absorber

dan *bandwidth* sebesar 55 MHz, terlihat terdapat pergeseran frekuensi kerja dari antena mikrostrip array. Membuktikan bahwa antena yang difabrikasi memiliki substrat yang berbeda dengan yang disimulasikan. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran dari S-Parameter antena

mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* ditampilkan pada Gambar 4.18.



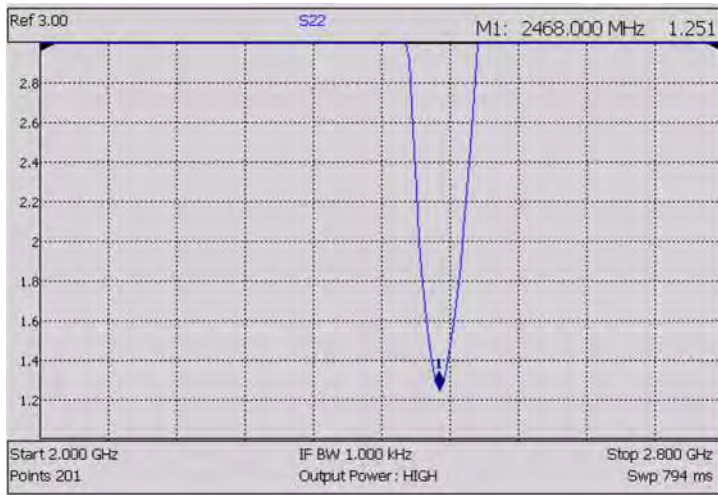
Gambar 4.18 Perbandingan Simulasi dan Pengukuran S-Parameter untuk Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber*

4.5.2 Analisis VSWR Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber*

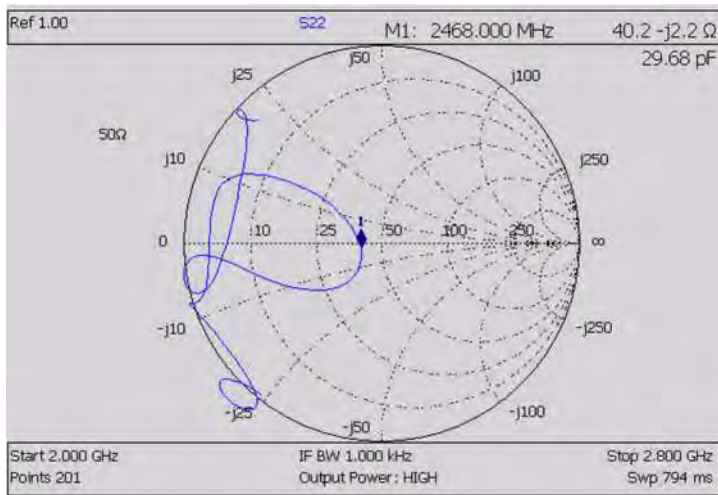
Pada Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa hasil VSWR yang terukur dari antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* adalah 1.251 dan jika dibandingkan dengan hasil VSWR pada Gambar 3.41, adalah 1.12. Terdapat perbedaan yang tidak terlalu signifikan.

4.5.3 Analisis Impedansi *Input* Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber*

Pada Gambar 4.20 merupakan hasil pengukuran impedansi *input* antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber* 40.2 Ω , dan jika dibandingkan dengan hasil simulasi yang terdapat pada Gambar 3.42, adalah 52.28 Ω . Terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada pengukuran impedansi *input*, karena cukup jauh dari 50 Ω .



Gambar 4.19 Hasil Pengukuran VSWR untuk Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber*



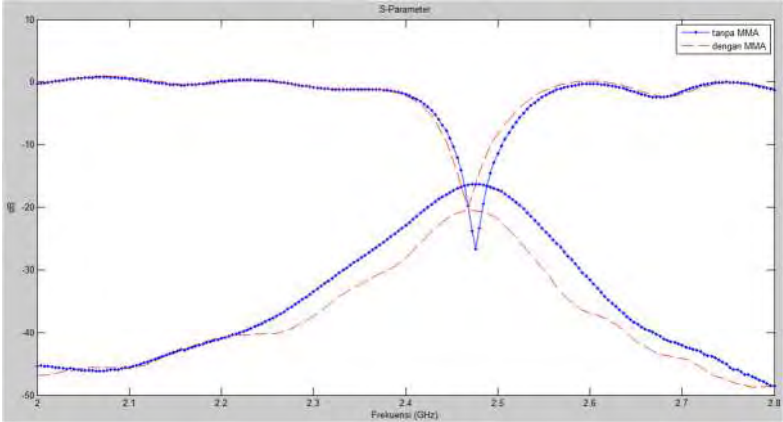
Gambar 4.20 Hasil Pengukuran Impedansi *Input* untuk Antena Mikrostrip *Array* dengan *Metamaterial Absorber*

Tabel 4.4 Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip Array dengan *Metamaterial Absorber*

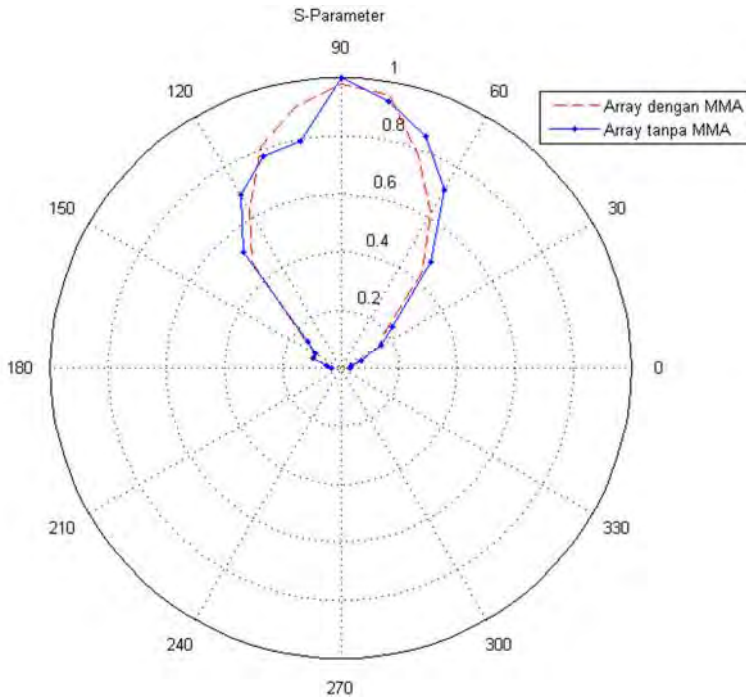
Parameter	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Kerja (GHz)	2.4	2.468
<i>Return Loss</i> (dB)	-24.8	-20.05
<i>Mutual Coupling</i> (dB)	-23.57	-20.56
<i>Bandwidth</i> (MHz)	55	± 48
VSWR	1.12	1.251
Impedansi <i>Input</i> (Ω)	52.28	40.2

4.6 Perbandingan Pengukuran

Pada Gambar 4.21 terlihat perubahan nilai S-Parameter dari antena mikrostrip array dengan dan tanpa *metamaterial absorber* yaitu perbedaan frekuensi kerja antena, dari 2.476 GHz dengan 2.468 GHz; penurunan *return loss*, dari -26.65 dB menjadi -20.05 dB; penurunan *mutual coupling* (S21), dari -16.31 dB menjadi -20.56 dB. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya penambahan *metamaterial absorber* pada antena mikrostrip array dapat meningkatkan isolasi sehingga terjadinya penurunan *mutual coupling*.



Gambar 4.21 Perbandingan Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Array dengan dan Tanpa *Metamaterial Absorber*



Gambar 4.22 Perbandingan Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena yang Ternormalisasi

Pada Gambar 4.22 merupakan hasil dari pengukuran pola radiasi antena *array* dengan dan tanpa *metamaterial absorber*. Pada antena *array* tanpa *metamaterial absorber*, memiliki HPBW dari 51° hingga 131° . Pada antena *array* dengan *metamaterial absorber*, memiliki HPBW dari 55° hingga 128° . Kedua antena tersebut memiliki pola radiasi yang hampir identik, sehingga dapat disimpulkan bahwa *metamaterial absorber* tidak mengubah pola radiasi dari antena secara signifikan.

Tabel 4.5 Perbandingan Parameter Hasil Pengukuran Antena

Parameter	Array tanpa MMA	Array dengan MMA
Frekuensi Kerja (GHz)	2.476	2.46
<i>Return Loss</i> (dB)	-26.65	-20.05
<i>Mutual Coupling</i> (dB)	-16.31	-20.56
<i>Bandwidth</i> (MHz)	± 52	± 48
VSWR	1.11	1.251
Impedansi <i>Input</i> (Ω)	45.1	40.2
HPBW	80^0	73^0

4.7 Sintesis

Metamaterial absorber yang dirancang diharapkan dapat mengurangi *mutual coupling* antena mikrostrip *array*. Hal tersebut menyebabkan antena mikrostrip *array* dapat didesain dengan dimensi yang lebih kecil tetapi memiliki performansi yang sama. Tahap awal yaitu menentukan terlebih dahulu, jenis substrat, dan *feeding* antena yang akan digunakan. Dengan mengetahui nilai konstanta dielektrik yang dimiliki oleh jenis substrat tersebut, kemudian melakukan perhitungan untuk dimensi antena yang didapatkan dari beberapa *paper* dan buku yang membahas tentang antena mikrostrip *patch*, contohnya adalah panjang dan lebar *patch*, panjang dan lebar substrat, panjang dan lebar *feeding*, serta panjang dan lebar *inset feed*. Impedansi *input* didesain untuk mendekati nilai 50Ω , agar *matching* dengan konektor SMA. Parameter yang dilihat adalah grafik *return loss* yang memiliki *peak* pada 2.4 GHz. Jika tidak sesuai dengan yang kita inginkan, maka dilakukan *parameter sweep* pada setiap dimensi yang terdapat pada antena mikrostrip *patch*.

Setelah mendapatkan dimensi antena mikrostrip, dilakukan penambahan antena mikrostrip *patch* yang berada di sebelahnya yang memiliki jarak seperdelapan panjang gelombang. Pada *software* simulasi, dilakukan dengan cara *mirroring*, kemudian ditambahkan *gap* yang diinginkan, kemudian simulasikan.

Setelah menjadikan antena mikrostrip *patch* menjadi antena mikrostrip *array* yang memiliki jarak seperdelapan panjang gelombang, kemudian ditambahkan *metamaterial absorber* yang berada diantara elemen antena mikrostrip *array* tersebut. Karena tidak ada rumus dimensi dari *metamaterial absorber* jika diposisikan pada antena *array*, maka ditentukanlah bentuk awal dari metamaterial tersebut, kemudian lakukan *parameter sweep*. Perubahan parameter yang diinginkan adalah

terdapatnya penurunan grafik *mutual coupling* (S21) saat ada penambahan *metamaterial absorber* pada antena mikrostrip array.

Setelah mendapatkan hasil simulasi yang telah sesuai pada *software*, maka desain dapat difabrikasi. Setelah difabrikasi, kemudian dilakukan pengukuran antena. Pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer*, dimana hasilnya berupa S-Parameter, *bandwidth*, pola radiasi dan impedansi *input* yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Dengan hasil pengukuran dan hasil simulasi, kemudian dilakukan analisis data.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN

A. LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri - ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Raden Mirzha Chainurifaza Sukmaputra
Nomor Pokok : 2212100058
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap 2015/2016
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
2. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.
Judul Tugas Akhir : Peningkatan Isolasi antar Elemen pada Antena Mikrostrip Array dengan Menggunakan *Metamaterial Absorber* (*Increased Isolation between Elements of Antenna Microstrip Array Using Metamaterial Absorber*)

10 FEB 2016

Uraian Tugas Akhir :

Munculnya bahan indeks negatif menjadi titik awal dalam penelitian yang ekstensif pada *metamaterial* selama dekade terakhir. Para peneliti sangat tertarik terhadap *metamaterial* karena bukan hanya sifat elektromagnetiknya yang eksotis, tetapi juga potensinya yang menjanjikan untuk diaplikasikan. Salah satu contoh dari *metamaterial* adalah *metamaterial absorber* yang berguna untuk menyerap gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan berdasarkan bentuk *metamaterial absorber* tersebut. Salah satu kegunaan *metamaterial absorber* adalah untuk mengatasi *mutual coupling* pada antena array. Efek dari *mutual coupling* sangat merugikan pada pengukuran antena karena dapat menyebabkan perubahan pada parameter antena tersebut.

Pada tugas akhir ini, akan merancang *metamaterial absorber* yang diimplementasikan pada antena mikrostrip array. Selanjutnya akan membandingkan parameter antena mikrostrip array dengan dan tanpa *metamaterial absorber*.

Dosen Pembimbing I,



Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
NIP : 197210012003121002

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.
NIP : 196605101992032002

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS
Ketua,



Dr. Eng. Ardiono Privadi, S.T., M.Eng.
NIP : 197309271998031004

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator,



Dr. Ir. Endrovono, DEA.
NIP : 196504041991021001

B. PROPERTI PENGUKURAN



C. PENGUKURAN POLA RADIASI



D. TABEL PENGUKURAN POLA RADIASI TERNORMALISASI

Sudut	<i>Array</i> tanpa MMA	<i>Array</i> dengan MMA
0 ⁰	0.036307805	0.033113
10 ⁰	0.045708819	0.038019
20 ⁰	0.081283052	0.074131
30 ⁰	0.151356125	0.158489
40 ⁰	0.199526231	0.229087
50 ⁰	0.436515832	0.47863
60 ⁰	0.616595002	0.707946
70 ⁰	0.776247117	0.851138
80 ⁰	0.954992586	0.933254
90 ⁰	0.977237221	1
100 ⁰	0.912010839	0.794328
110 ⁰	0.812830516	0.776247
120 ⁰	0.630957344	0.691831
130 ⁰	0.478630092	0.524807
140 ⁰	0.16218101	0.147911
150 ⁰	0.107151931	0.102329
160 ⁰	0.09332543	0.102329
170 ⁰	0.050118723	0.047863
180 ⁰	0.031622777	0.033113

BAB V

PENUTUP

Penelitian dalam tugas akhir ini menghasilkan beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan bab-bab sebelumnya. Kekurangan yang didapat dari hasil akhir perancangan masih dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yang telah dirangkum dalam subbab 5.2.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dalam perancangan antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin dekat elemen pada antenna *array*, semakin besar pula *mutual coupling* yang terjadi.
2. Antena yang dirancang mampu bekerja dengan baik pada frekuensi 2.48 GHz untuk antenna mikrostrip *patch*, 2.476 GHz untuk antenna mikrostrip *array*. Dan untuk antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*, mampu bekerja dengan baik pada frekuensi 2.468 GHz.
3. Frekuensi kerja setiap antenna dari hasil pengukuran mengalami perubahan karena terdapat pergeseran konstanta dielektrik dari substrat.
4. Pengukuran *return loss* setiap antenna sudah memenuhi spesifikasi < -10 dB. Meskipun terjadi pergeseran frekuensi kerja.
5. Pengukuran *mutual coupling* dari antenna mikrostrip *array* tanpa dan dengan *metamaterial absorber* bernilai -16.31 dB menjadi -20.56 dB, sehingga terjadi penurunan *mutual coupling* sebesar 4.25 dB.
6. *Metamaterial absorber* dapat mengurangi *mutual coupling* antar elemen pada antenna *array*, tidak mengubah pola radiasi tetapi dapat mengubah *bandwidth* dan impedansi *input* antenna.
7. Setiap antenna memiliki $VSWR < 2$, sehingga sudah memenuhi spesifikasi.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan performa dari antenna mikrostrip *array* dengan *metamaterial absorber*, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya. Diantaranya yaitu :

1. Konstanta dielektrik dari substrat antena yang difabrikasi harus memiliki konstanta dielektrik yang sama dengan yang disimulasi.
2. Untuk mendapatkan data yang tepat, peralatan pengukuran harus terkalibrasi dan presisi.
3. Pemilihan frekuensi kerja yang berbeda untuk mengetahui apakah *metamaterial absorber* dengan dimensi yang sama tetap dapat mengurangi *mutual coupling* atau tidak.
4. Penggunaan dimensi *metamaterial absorber* yang berbeda, seperti segitiga, lingkaran, atau bentuk lainnya.
5. Perancangan *metamaterial absorber* untuk penurunan *mutual coupling* yang memiliki *bandwidth* yang lebar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dahlan E. A., “Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Array 2x2 pada Frekuensi 1575 MHz”, Jurnal EECCIS Vol. III No. 1 Juni 2009.
- [2] Dr. Sabban A., “Microstrip Antenna Arrays”, Ort Braude College, Karmiel, Israel.
- [3] Cahyu R. D., Christyono Y., Santoso I., “Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip Array dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [4] Hameed A. G., Abdullah A. K., Sabbagh H. M., Bashir H. K., “*Mutual coupling* Reduction of a (2x1) MIMO Antenna System Using Parasitic Element Structure for WLAN Applications”, Department of Electrical Engineering, College of Engineering, University of Basrah, Basra, Iraq.
- [5] Chauhan A. S., Ramesh R., Kiran U. K., “Efficient Method of Increase in Isolation between Patch Antennas Using Metamaterial”, International Conference on Communication and Signal Processing. April 2-4, 2015, India.
- [6] Stutzman, W.L. and Thiele, A.G., “*Antenna Theory and Design*” 3rd ed., New York, 1998.
- [7] Balanis, C. A., “*Antenna Theory Third Edition : Analysis and Design*”, John Wiley & Sons, INC. 2005.
- [8] B. Jyothi, B.T.P.Madhav, V.V.S. Murthy, P. Syam Sundar, VGKM Pisipati, “Comparative Analysis of Microstrip Coaxial Fed, Inset Fed and Edge Fed Antenna Operating at Fixed Frequency”, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 2, February 2012.
- [9] Yoon, L.G., Ko, J.H., Cho, Y.K., “Electromagnetic Coupling in Aperture-Coupled and Proximity-Coupled Microstrip Antenna Structures”, IEEE 2001.
- [10] Ludwig, R. and Bretchko, P., “*RF Circuit Design Theory and Application*”, Prentice Hall, 2000.
- [11] https://id.wikipedia.org/wiki/Zona_Fresnel, 17 Mei 2016, 12.19 AM
- [12] Kshetrimayum R. S., “A brief intro to metamaterials”, 0278-6648/04 IEEE, 2004.
- [13] Hui H. T., “*Mutual coupling* in Antenna Arrays”, NUS/ECE, EE6832.

RIWAYAT PENULIS



Raden Mirzha Chainurfaza Sukmaputra, yang akrabnya dipanggil Mirzha atau Milja, memiliki *nickname* DeSparthaz dan Jehuty, lahir pada tanggal 31 Mei 1995 di Bandung. Setelah lahir di Bandung, sempat selama satu tahun menetap di Jakarta, lalu kemudian bertempat tinggal di Bogor hingga saat ini. Penulis menempuh pendidikan di SDN Kartika Sejahtera, SMPN 1, dan SMAN 1 Bogor sebelum akhirnya melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis memiliki hobi *Gaming*,

khususnya *Real-Time Strategy* (*Command and Conquer*, *Warcraft*, *Starcraft*, *Age of Empires*, *Age of Mythology*, *Praetorians*, *Rise of Nations*, *Company of Heroes* dan lain-lain), *Turn-Based Strategy* (*Civilization V*, *Total War*, *Heroes of Might and Magic*) dan *Multiplayer Online Battle Arena* (*DotA 2*). Pengalaman akademik dan aktivitas laboratorium sebagai asisten laboratorium Jaringan Telekomunikasi B301 dan laboratorium Komunikasi Multimedia B304 juga turut berkontribusi dalam mengembangkan kemampuan penulis selama berada di ITS.